

भीतिक विज्ञान मे क्रान्ति

1 फैंच भाषा की मूल पुस्तक “La Physique Nouvelle et les Quanta” के
नीमेयर (R W Niemejer) कृत अंग्रेजी भाषान्तर (1950) से अनूदित]

भौतिक विज्ञान में क्रान्ति

(क्वांटमो का गणितविहीन पर्यवेक्षण)

लेखक

लूई दे ब्रोग्ली

अनुवादक

डॉ० निहाल करण सेठी

प्रकाशन शाखा, सूचना विभाग

उत्तर प्रदेश

प्रथम सत्करण

१९५८

मूल्य

साढे चार रुपया

मुद्रक

प० पृथ्वीनाथ भागवत,

भागवत भूषण प्रेस गायघाट, वाराणसी

प्रकाशकीय

भारत की राजभाषा के रूप में हिन्दी की प्रतिष्ठा के पदचान् यद्यपि इस देश के प्रत्येक जन पर उसकी समृद्धि का दायित्व है किन्तु इसमें हिन्दी भाषा भाषी क्षेत्रों के विशेष उत्तरदायित्व में किसी प्रकार की कमी नहीं जानी। हमें संविधान में निराग्नि अवधि के भीतर हिन्दी का न केवल सभी राजकार्यों में व्यवहृत करना है उस उच्चतम शिक्षा के माध्यम के लिए भी परिपुष्ट बनाना है। इसके लिए अपेक्षा है कि हिन्दी में वाङ्मय के सभी अवयवों पर प्रामाणिक ग्रन्थ है और यदि कोई व्यक्ति केवल हिन्दी के माध्यम से जानाजान करना चाहे तो उसका माग अव्यक्त न रह जाय।

इसी भावना से प्रेरित होकर उत्तर प्रदेश शासन ने हिन्दी समिति के तत्वावधान में हिन्दी वाङ्मय के सभी अङ्गों पर ३०० ग्रन्थों के प्रणयन एवं प्रकाशन के लिए पंचवर्षीय योजना परिचालित की है। यह प्रयत्नता का विषय है कि देश के बहुश्रुत विद्वानों या महायोग इस सत्प्रयास में समिति का प्राप्त हुआ है जिसके परिणाम-स्वरूप आठे समय में ही विभिन्न विषयों पर पच्चीस ग्रन्थ प्रकाशित किये जा चुके हैं। दश की हिन्दी भाषी जनता एवं पत्र-पत्रिकाओं से हम इस दिशा में पर्याप्त प्रोत्साहन मिला है जिससे हम अपने इस उपक्रम की सफलता पर विश्वास होने लगा है।

प्रस्तुत ग्रन्थ हिन्दी समिति ग्रन्थमाला का २६ वा पुष्प है। भौतिक विज्ञान सम्बन्धी धारणाओं में पिछले ५०-६० वर्षों के भीतर जो क्रांति हुई है, उसका विवरण और इतिहास बहुत रोचक है। इस पुस्तक में इसी विषय का दिग्दर्शन कराया गया है। इसके लेखक हैं नोबल पुरस्कार विजेता लूई द ब्रोगली, जिन्होंने स्वयं इस क्रांति में प्रमुख भाग लिया है और जो द्रव्य के तरंग सिद्धांत के प्रणेता के रूप में विश्वविख्यात

ह। उनकी कलापूर्ण तथा अविकारी लेखनी ने इस पुस्तक को और भी महत्वपूर्ण बना दिया है। मूल पुस्तक फ्रेञ्च भाषा में लिखी गयी थी और उसका सार की अनेक भाषाओं में अनुवाद हो चुका है। आशा है, हिन्दी भाषा में उसका यह अनुवाद जो हिन्दी के लब्धप्रतिष्ठ वैज्ञानिक डॉ० श्री निहालचरण सेठी ने किया है, हमारे पाठकों के लिए उपयोगी सिद्ध होगा।

भगवतीशरण सिंह

सचिव, हिन्दी समिति

विषय-सूची

	पृष्ठ संख्या
भूमिका—क्याटमो का महत्त्व	१-१०
क्याटमा के विषय में ज्ञान प्राप्त करना आवश्यक क्या ?	१
चिर प्रतिष्ठित यांत्रिकी और भौतिकी सम्मिश्रण मात्र है	८
पहला परिच्छेद—चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी	१-१९
गतिमिति तथा गति विज्ञान	१
द्रव्य बिन्दु के गति विज्ञान सम्बन्धी यूटन के नियम	३
द्रव्य बिन्दु निकाया या गति विज्ञान	८
वश्लेपिक यांत्रिकी और यावामी का सिद्धांत	११
यूननतम त्रिया का नियम	१५
दूसरा परिच्छेद—चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान	२०-३५
यांत्रिकी के विस्तारण	२०
प्रकाश विज्ञान	२१
विद्युत और विद्युत चुम्बकीय सिद्धांत	२८
ऊष्मा-शक्ति	३३
तीसरा परिच्छेद—परमाणु और कणिकाएँ	३६-५४
द्रव्य की परमाणुमय संरचना	३६
गसा का गत्यात्मक सिद्धांत और सार्विकीय यांत्रिकी	३९
विद्युत की कणिकामय संरचना—इलेक्ट्रान और प्रोटान	४४
विकिरण	४८
इलेक्ट्रान सिद्धान्त	५०
चौथा परिच्छेद—आपेक्षिकता का सिद्धांत	५५-७३
आपेक्षिकता का सिद्धांत	५५
दिक्-काल	६४
आपेक्षिकीय गति विज्ञान	६६
व्यापक आपेक्षिकता	७३

	पृष्ठ संख्या
पाचवा परिच्छेद-भौतिक विज्ञान में क्वाटमा का प्रादुर्भाव	७४-९६
चिर-प्रतिष्ठित भौतिकी और क्वाटम भौतिकी	७४
कृष्ण वस्तु के विविरण का सिद्धान्त और प्लांक का क्वाटम	७८
प्लांक की परिकल्पना का विकास तथा क्रिया का क्वाटम	८३
प्रकाश-वैद्युत प्रभाव और प्रकाश की असतत संरचना	८७
क्वाटम परिकल्पना के प्रथम उपयोग	९४
छठा परिच्छेद-बोह्र का परमाणु	९७-११७
स्पेक्ट्रम और स्पेक्ट्रमीय रेखाएँ	९७
बोह्र का सिद्धान्त	१००
बोह्र के सिद्धान्त का परिपाक और सामरफेल्ड का सिद्धान्त	१०७
बोह्र का सिद्धान्त और परमाणुओं की संरचना	१११
बोह्र के सिद्धान्त की आलोचना	११५
सातवा परिच्छेद-आनुरूप्य नियम	११८-१२८
क्वाटम सिद्धान्त को विविरण सिद्धान्त में सम्मिलित करने में कठिनाई	११८
बोह्र का आनुरूप्य नियम	१२२
आनुरूप्य नियम के कुछ उपयोग	१२५
आठवाँ परिच्छेद-तरंग यांत्रिकी	१२९-१५८
तरंग-यांत्रिकी के उद्गम और मूल धारणाएँ	१२९
वणिका और उसकी आनुपगिक तरंग	१३२
धार्डिगर की गवेषणा	१३९
इलैक्ट्रानों का विवर्तन	१४६
तरंग-यांत्रिकी या भौतिकीय निबन्धन	१४९
गमों का सिद्धान्त	१५४
नयाँ परिच्छेद-हाइड्रोजनवर्ग की क्वाटम-यांत्रिकी	१५९-१७०
हाइड्रोजनवर्ग के पथ प्रदर्शक विचार	१५९
क्वाटम-यांत्रिकी	१६१
क्वाटम-यांत्रिकी तथा तरंग-यांत्रिकी की एकात्मकता	१६४
नवीन यांत्रिकी में आनुरूप्य नियम	१६८

	पृष्ठ सख्या
दसवा परिच्छेद—नवीन यात्रिकी का प्रायिकतामूलक निर्वचन	१७१-२१०
सामान्य धारणाएँ और मूल सिद्धान्त	१७१
अनिश्चितता के अनुबन्ध	१७७
पुरानी यात्रिकी में सागत्य	१८१
नवीन यात्रिकी में अनिर्णीतता	१८३
परिपूरकता आदर्शिकरण, जाकाश और बाल	१८८
क्या क्वाटम भौतिकी अनियतिवादी ही रहेगी ?	१०२
ग्यारहवा परिच्छेद—इलक्ड्रान का नतन	२११-२२९
मूधम रचनाएँ तथा चुम्बकीय विपमताएँ	२११
ऊहलेन बैंक और गूडस्मिट की परिकल्पना	२१५
पाली का सिद्धान्त	२१७
टिरक का सिद्धान्त	२२१
ऋणात्मक ऊर्जावाली अवस्थाएँ तथा घन इलक्ड्रान	२२६
बारहवा परिच्छेद—निकायो की तरग यात्रिकी और पाली का नियम	२३०-२५२
कणिका निकाया की तरग-यात्रिकी	२३०
एक-सी कणिकाओं के निवाय और पॉली का नियम	२३५
निकाया की तरग-यात्रिकी के उपयोग	२४१
क्वाटम-मास्थिकी	२४६
व्यक्तित्व की सीमाएँ	२५१
उपसहार—अथ कतिपय प्रश्न जिनके सम्बन्ध में इस पुस्तक में विचार नहीं किया गया	२५३-२६८
तरग-यात्रिकी और प्रकाश	२५३
नाभिकीय भौतिक विज्ञान	२५६
लुई द ब्रोग्ली का मक्षिप्त जीवन-वृत्त	२६७
कालानुक्रमिकता—धीमधी शताब्दी की क्वाटम तथा पारमाणविक सिद्धान्तों के विकास-सम्बन्धी महत्त्वपूर्ण घटनाओं की	२७०
प्रथम सूची	२७२
पारिभाषिक शब्दावली	हिन्दी-अंग्रेजी २७४
	अंग्रेजी हिन्दी ३००-३२४

भूमिका

क्वांटमो का महत्त्व

१ क्वांटमो के विषय में ज्ञान प्राप्त करना आवश्यक क्यों ?

इसमें सन्देह नहीं कि इस छोटी-सी पुस्तक के आवरण पर रहस्यमय शब्द क्वांटम का देखकर ही अनेक पाठक आशंकित हो उठेंगे। जन माधारण का अपेक्षितता के सिद्धांत के सम्बन्ध में तो थोड़ा बहुत अस्पष्ट—बहुधा अत्यंत ही अस्पष्ट—परिचय है क्योंकि पिछले कई वर्षों से इसके विषय में बहुत चर्चा होती रही है। किंतु मेरा विश्वास है कि क्वांटम सिद्धांत के सम्बन्ध में जनता को प्रायः कुछ भी आभास—अस्पष्ट आभास भी—नहीं है। मानना पड़ेगा कि ऐसा हाना क्षतय भी है क्योंकि क्वांटम सचमुच ही रहस्यमय वस्तुएँ हैं। जब मैं केवल बीस वर्ष का था तभी मैंने इनका अध्ययन प्रारम्भ किया था और उन पर विचार करते अब प्रायः चौथाई शताब्दी बीत चुकी है तथापि मुझे नम्रतापूर्वक यह स्वीकार करना पड़ता है कि इतने चिंतन के बाद भी मैं उनके केवल धाटे से ही गुणा को कुछ थोड़ा अधिक अच्छी तरह समझ सका हूँ। किंतु अभी तक मुझ ठीक-ठीक नहीं मानूँ कि बाहरी आवरण के पीछे छिपा हुआ उनका वास्तविक स्वरूप क्या है। फिर भी मैं समझता हूँ कि यह अब निस्सन्देह कहा जा सकता है कि यद्यपि पिछली कई शताब्दियों में भौतिक विज्ञान में बहुत विस्तृत और महत्त्वपूर्ण प्रगति हो गयी है तथापि जब तक भौतिकता को क्वांटम के अस्तित्व में नहीं लाया था तब तक वे भौतिक घटनाओं के वास्तविक तथा स्पष्ट रूप का ज्ञान नहीं में बिल्कुल ही असमर्थ थे, क्योंकि क्वांटम के बिना हम समझ नहीं सकते कि अस्तित्व का क्या है और वे क्या हैं। धर्मशास्त्र का ज्ञान भी अज्ञान करके यह भी कहा जा सकता है कि ईश्वर का क्या रूप है। निम्न क्वांटम के बिना नहीं हुआ है।

अब हम समझ सकने हैं कि जिस दिन विज्ञान में चुपके से क्राटमा का प्रवेश हुआ था उस दिन हमारे मानवीय विज्ञान की प्रगति की दिशा ने सचमुच ही वास्तविक मोड़ ले लिया था। उस दिन चिरप्रतिष्ठित (क्लमिक्ल) भौतिक विज्ञान की विशाल और भव्य इमारत की नींव तक हिल गयी थी। किन्तु उस समय इस बात का किसी का भी स्पष्ट अनुभव नहीं हुआ था। बौद्धिक जगत् के इतिहास में इतनी बड़ी उथल-पुथल बहुत कम ही हुई है।

जो घाति हा गयी है उसकी बृहत्ता का आदाजा लगाने में हमें अब कुछ थोड़ी-सी सफलता मिलने लगी है। देकार्त^१ के आदर्श का अनुसरण करके चिरप्रतिष्ठित भौतिकी ने हमें यह बताया था कि यह विश्व एक विज्ञान यांत्रिक रचना के समान है। आकाश^२ में उसके विभिन्न भागों के अवस्थापन^३ से तथा काल के प्रवाह में होनेवाले उसके परिवर्तन के ज्ञान से उसका पूर्णतः यथार्थ वर्णन हो सकता है। और प्रारम्भिक स्थिति के सम्बन्ध में कुछ ज्ञान होने पर सिद्धान्ततः उसकी भविष्य में हो सकनेवाली प्रगति के विषय में बिल्कुल सही प्रागुक्ति भी की जा सकती है। किन्तु यह धारणा जिन अनेक प्रच्छन्न परिवर्तनाओं पर निर्भर थी वे प्रायः अनजाने ही स्वीकार कर ली गयी थी। इन परिवर्तनाओं में एक यह भी थी कि आकाश^४ और काल^५ के जिन ढांचे या संस्थान में हम अपने समस्त अनुभवों की अवस्थापना करने का प्रयत्न स्वभावतः करते हैं वह पूर्णतः दृढ़^६ और अपरिवर्ती^७ है। सिद्धान्ततः इस ढांचे में प्रत्येक भौतिक घटना की अवस्थापना समस्त निकटवर्ती गत्यात्मक प्रक्रियाओं से सवधा स्वतंत्र होती है। फलतः भौतिक जगत् के समस्त परिणमन (वैरियेशन्) आकाश की स्थानीय अवस्था के काल प्रवाह में होनेवाले रूपान्तरों के द्वारा अवश्य ही व्यक्त हो सकते हैं। और यही कारण है कि चिरप्रतिष्ठित विज्ञान में ऊर्जा तथा संवेग^८ जसी गत्यात्मक राशियाँ व्युत्पन्न^९ राशियों के रूप में प्रकट हुई थी और वे^{१०} की धारणा पर आश्रित थी। अयान गतिमिति^{११} ही गति विज्ञान^{१२} का आधार बन गयी थी।

किन्तु क्वाटम भौतिकी^{१३} के दृष्टिकोण से तथ्य सवधा विपरीत है। क्रिया के क्वाटम^{१४} के अस्तित्व में (जिमका उल्लेख हमें इस पुस्तक में अनेक बार करना पड़ेगा) यह बात निहित है कि आकाश और काल में अवस्थापन के दृष्टिकोण में तथा

1 Descartes 2 Space 3 Localisation 4 Space 5 Time 6 Rigid 7 Energy 8 Momentum 9 Derived 10 Velocity 11 Kinematics 12 Dynamics 13 Quantum Physics 14 Quantum of action

गत्यात्मक' परिणमन के दृष्टिवाण में एक प्रकार का वपरीत्य है। वास्तव जगत् के घनन में दाना ही दृष्टिवाणा का उपयोग ही संभव है किन्तु यह संभव नहीं है कि एक ही साथ दाना का पूर्ण बटारतापूर्वक अपघात जा सके। जावाण और वाक् के सम्मान में अविकृत यथायथापूर्वक अस्त्यापन एक प्रकार का स्थिति आदर्शीकरण¹ है जिसमें परिणमन और गत्यात्मकता की संभावना नहीं है। विपरीत हमारे गतिशील अवस्था की पूर्णतः शुद्ध रूपका गत्यात्मक² आदर्शीकरण³ है जो मिथ्यातत्त्व स्थान और क्षण की धारणाओं का पूर्णतः विरोधी है। क्वांटम सिद्धान्त में भौतिक जगत् का घनन तभी सम्भव है जब इन दो परस्पर विरोधी प्रतिस्थापन में किसी एक का ही धाँडा या बहुत उपयोग किया जाय। इसमें एक प्रकार का समझौता-सा हो जाता है। हाइज़नबर्ग⁴ के विख्यात अनिश्चितता के अनुबंध⁵ हमें यही बताते हैं कि यह समझौता बिना हद तक संभव है। इन नये विचारों से अनेक अन्य परिणामों के अनिवार्यतया यह भी प्रमाणित हो जाता है कि गतिमिति कोई ऐसा विज्ञान नहीं है जिसका कुछ भौतिक अर्थ हो। चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी में यह मान लिया गया था कि जगत् में हानेवाले विस्थापन का स्वतंत्र रूप से अध्ययन हो सकता है और इसके द्वारा निस्थापन और त्वरणा⁶ की परिभाषाएँ बिना इस बात की चिन्ता किये भी बन सकती हैं कि वे विस्थापन वस्तुतः सम्पन्न क्या होते हैं। गति के इस निरूपण अध्ययन से प्रारम्भ करने के बाद उममें कई नये भौतिक सिद्धांतों के समाधान से ही गति विज्ञान⁷ की दिशा में प्रगति हुई थी। किन्तु क्वांटम सिद्धांत में विषय का इस प्रकार विभाजन सिद्धांततः मायब नहीं है क्योंकि आकाश और काल में अस्त्यापन जो गतिमिति का मूल आधार है केवल गतिबैनातिन⁸ प्रतिप्रवाह द्वारा निश्चित सीमा तक ही स्वीकार किया जा सकता है। फिर भी हम आगे चलकर देखेंगे कि स्थूल घटनाओं के अध्ययन के लिए गतिमिति का उपयोग पूर्णतः योग्यमय हो सकता है। किन्तु जिन परमाणु मापदंडीय सूक्ष्म घटनाओं में क्वांटम का प्राधान्य होता है उनके लिए हमें यह कहना पड़ता है कि जिस गतिमिति में समस्त प्रवक्तव्य कारणों का छोड़कर गति का अध्ययन स्वतंत्र रूप में किया जाता है वह संभवता अथहीन है।

चिरप्रतिष्ठित भौतिकी के मूल में दूसरी प्रचलित परिवर्तना यह है कि प्राकृतिक

घटनाओं के यथायथापूर्व अध्ययन के लिए विज्ञानियों को प्रेरण और माप करता है उनके द्वारा घटना प्रवाह में होनेवाले विचारों को समुचित पूर्वावधानताओं की सहायता से उपेक्षणीय कर देना सम्भव है। दूसरे शब्दों में यह मान लिया जाता है कि सुसम्पादित प्रयोगों में ऐसी विचार वषष्ट परिमाण में छोटे और सूक्ष्म कर दिये जा सकते हैं। स्थूल परिमाणवाली घटनाओं में तो यह परिवर्तन सदैव बहुत-कुछ पूरी उतरती है, किन्तु परमाणु-जगत् में ऐसा नहीं होता। वस्तुतः हाइड्रोजन और बोहर के सूक्ष्म और गहन विश्लेषणों के द्वारा प्रमाणित हो गया है कि त्रिया के क्वांटम की वास्तविकता का यह निश्चित परिणाम होता है कि किसी निकाय की किसी एक लक्षणित राशि का नापने के प्रयत्न से ही उस निकाय-सम्बन्धी अन्य राशियों में किसी अज्ञात रीति से कुछ परिवर्तन हो जाता है। अधिक यथायथापूर्वक या कह सकते हैं कि जिस राशि के द्वारा निकाय का आकार और काल में यथायथा अवस्थापन सम्भव है सारे उसके नापने की प्रक्रिया का यह परिणाम होता है कि उस राशि से समुग्मित जिस दूसरी राशि के द्वारा उस निकाय की गत्यात्मक अवस्था निर्धारित होती है वह बदल जाती है। विशेषतः यह असम्भव है कि किन्हीं भी दो समुग्मित राशियों को एक साथ पूर्ण यथायथापूर्वक नापा जा सके। अब हम समझ सकते हैं कि त्रिया के क्वांटम के अस्तित्व के कारण किसी निकाय के अवयवों का आकार और काल में अवस्थापन किस प्रकार उस निकाय की सुनिश्चित गत्यात्मक अवस्था के निर्धारण का विरोधी हो जाता है क्योंकि निकाय के अवयवों के अवस्थापन के लिए यह आवश्यक है कि हमें गत्यात्मक अवस्था सम्बन्धी दोनों ही समुग्मी राशि-समूहों का यथातथ (एग्जैक्ट) ज्ञान हो। किन्तु एक राशि-समूह का यथातथ ज्ञान ही उस राशि-समूह से समुग्मित दूसरे राशि-समूह के यथातथ ज्ञान को असम्भव बना देता है। अपने अध्ययन के लिए किसी निकाय में जो विचार वैज्ञानिक उत्पन्न करता है उसके लिए क्वांटमों का अस्तित्व एक निश्चित प्रकार की निम्न सीमा निर्धारित कर देता है। इस प्रकार चिरप्रतिष्ठित भौतिकी के मूल में जो परिकल्पनाएँ प्रचलन थी उनमें से एक का प्रतिपेक्ष हो जाता है। इस तथ्य के परिणाम अत्यन्त महत्वपूर्ण हैं।

इससे यह नतीजा निकलता है कि सनातन विचारधारा के अनुसार किसी निकाय के यथातथ विवरण के लिए जिन राशियों का ज्ञान आवश्यक है उनमें से

आधी से अधिका या जान हमें यथायथापूरन हा ही रही मरता। मर ता यह कि निवाय की किसी एक लाभणिक रागि का जितना ही अधिका यथाय जान हमें हागा उत्तनी ही अधिका अनिश्चित उमम ग्यमिन दूसरी रागि हा जायगी। उम बात न प्राकृतिक घटनाआ की प्रावर्णितता के सम्बन्ध में प्राचीन और नवीन भौतिक विज्ञान में बहुत महत्त्वपूर्ण अन्तर पैदा हा जाता ह। प्राचीन भौतिक विज्ञान म कम-से-कम सिद्धान्तत ता यह सम्भव था कि किसी निवाय के अवयवा के स्थान और उमम ग्यमिन गत्यात्मक रागिया का निधारित करनेवाली रागिया के योग पदिक जान के द्वारा किसी परवर्ती क्षण पर उम निवाय की जा अवस्था हानाया ह उमका हम बठार¹ गणना के द्वारा पहले से ही जान लें। किसी क्षण t पर किसी निवाय की परिग्लक्षक रागिया के मान x, y का यथायत जान लेने पर पहले हम निश्चित रूप में बता सकने थे कि किसी परवर्ती क्षण t पर उन रागिया का नापने में उनके क्या मान x, y पाये जायेंगे। यह परिणाम भौतिक तथा यात्रिक सिद्धान्ता के मूल समीकरणों के रूप तथा उन समीकरणों के गणितीय गुणा का था। यत्मान घटनाआ के द्वारा भविष्य की घटनाआ की बिल्कुल सशयहीन प्रागुक्ति की सम्भावना के द्वारा अर्थात् भविष्य किसी न किसी प्रकार यत्मान में ही निहित ह और उममें कोई नवीन बात प्रविष्ट नहीं हाती इस धारणा के ही द्वारा उस मायता की मष्टि हुई थी जिसे हम प्राकृतिक घटनाआ का नियतिवाद² कहते ह। किन्तु इस सशयहीन प्रागुक्ति के लिए आवासीय³ अवस्थापन की चर रागिया के तथा उनसे समुग्मित गतिवीय रागिया के योगपदिक माना का यथायत जान आवश्यक है। और क्वाटम सिद्धांत ठीक इसी जान को असम्भव बतलाता है। इसी कारण आज प्राकृतिक घटनाआ के परम्परा त्रम और भौतिक सिद्धान्ता की प्रागुक्ति कर सकने की क्षमता के सम्बन्ध में भौतिकज्ञा की (कम से कम उनमें से बहुतों की) विचारधारा में बहुत बड़ा परिवर्तन हो गया है। किसी क्षण t पर निवाय की लाभणिक रागिया के नापे हुए माना में क्वाटम सिद्धांत के अनुसार कुछ अनिवाय अनिश्चितता रहती ही है। इस कारण भौतिकज्ञ पहले से यह ठीक-ठीक नहीं बता सकता कि उन रागिया के मान किसी परवर्ती क्षण पर क्या हागे। वह केवल यही कह सकता है कि किसी परवर्ती क्षण पर नापे हुए मान किन्हीं निश्चित सख्याआ के बराबर हागे, इस बात की प्रायिकता⁴ कितनी है। जिन नापा से भौतिकज्ञा को

घटनाओं के पारिमाणिक रूप का जान होना है उनके उत्तरोत्तर पाये जानेवाले मात्रा का सम्बन्ध अब चिरप्रतिष्ठित नियतिवाद का कार्य-कारण सम्बन्ध नहीं रह गया है। अब यह केवल प्रायिकता का सम्बन्ध है क्योंकि जैसा हम ऊपर बता चुके हैं केवल ऐसा ही सम्बन्ध क्रिया के क्वांटम के अस्तित्व से उत्पन्न अनिश्चितता से अविरद्ध हो सकता है। इस प्रकार भौतिक नियमों के सम्बन्ध में जो हमारी धारणा थी उसमें अब बहुत बड़ा परिवर्तन हो गया है। हमारा विश्वास है कि इस परिवर्तन के समस्त दार्शनिक परिणामों को पूरी तरह समझने में अभी बहुत देर लगेगी।

सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान के जायज विकास ने दो ऐसे विचारों को जन्म दिया है जिनका उपयोग अत्यन्त व्यापक है—एक तो बोह्र के अर्थ में परिपूरकता¹ और दूसरा धारणाओं की सीमितता²। सबसे पहले बोह्र ने ही इस बात को स्पष्ट किया कि तरंग-कणिकी³ के विकास ने नवीन क्वांटम सिद्धान्त को जो रूप दिया है उसमें कणिकाओं⁴ और तरंगों⁵ की धारणाएँ अद्यावत् आकाश और काल में अवस्थापन और सुनिश्चित गत्यात्मक अवस्थाएँ परस्पर परिपूरक हैं। इससे उनका आशय यह है कि प्रेक्ष्य घटनाओं के अविकल वर्णन के लिए इन दोनों ही धारणाओं का उत्तरोत्तर उपयोग करना आवश्यक तो है किन्तु फिर भी ये धारणाएँ एक प्रकार से अमयेय हैं क्योंकि इनके द्वारा हमारे मस्तिष्क में जो प्रतिरूप बनते हैं वास्तविकता के वर्णन में उन दोनों का एक साथ पूर्णतः उपयोग कभी नहीं किया जा सकता। उदाहरण के लिए पारिमाणिक भौतिक विज्ञान में बहुत बड़ी सख्या ऐसे प्रेक्षित तथ्यों की हैं जिनका विवेचन केवल कणिकाओं की धारणा की सहायता से ही किया जा सकता है और इसलिए यह धारणा भौतिकज्ञ के लिए अपरित्याज्य समझी जा सकती है। इसी तरह तरंगों की धारणा भी अब बहुमूल्य घटनाओं के विवेचन के लिए उतनी ही अपरित्याज्य है। यदि वास्तविकता पर इन दोनों धारणाओं में से किसी एक का पूर्ण कठोरता से उपयोग किया जाय तो दूसरी को पूर्णतः अपवर्जित⁶ समझना होगा। किन्तु वस्तुतः दोनों ही धारणाएँ घटनाओं के विवेचन के लिए कुछ हद तक लाभदायक सिद्ध हुई हैं और परस्पर पूर्णतः विरोधी होने पर भी परिस्थिति के अनुसार कभी एक का और कभी दूसरे का उपयोग विक्षलित दृष्टिकोण है। यही बात आकाश-नालीय अवस्थापन और सुनिश्चित गत्यात्मक अवस्था के सम्बन्ध

में भी है। कणिकाओं और तरंगों की धारणाओं के समान ही ये धारणाएँ भी "परिपूरक" हैं। इसके अतिरिक्त हम जागे चलकर देखेंगे कि इन दोनों प्रकार की धारणाओं में बहुत गहरा सम्बन्ध भी है। यह प्रश्न हो सकता है कि इन दो परस्पर विरोधी प्रतिरूपा में सीधी टक्कर कभी क्या नहीं होती। इसका कारण हम पहले ही बता चुके हैं। दोनों परिपूरक प्रतिरूपा का प्रत्यक्ष सामना या नहीं हो सकता कि दोनों प्रतिरूपा को पूर्णतः यथायथ बनाने के लिए आवश्यक समस्त सूक्ष्म जगत्वा को एक साथ और एक ही क्षण पर यथातथ नापना सम्भव नहीं है और यह असम्भवता जो वश्लेषिकीय भाषा में हाइजनबर्ग के अनिश्चितता के अनुसंधान के द्वारा व्यक्त होती है त्रिधा के क्वांटम के अस्तित्व पर ही पूर्णतः आधारित है। इस प्रकार आधुनिक सद्धान्तिक भौतिकी के विकास में क्वांटम के आविष्कार का महत्त्वपूर्ण प्रभाव अत्यन्त स्पष्टता से प्रकट हो जाता है।

बोह्र द्वारा प्रतिपादित परिपूरकताएँ और धारणाओं की सीमितता में घनिष्ठ सम्बन्ध है। कणिका, तरंग, आकाशीय बिंदु या मुनिर्दिष्ट गत्यात्मक अवस्थाओं के सरल प्रतिरूप अमूर्त हैं आदर्शिकरण मान ह। बहुत से विषयों में तो ये आदर्शिकरण प्रकृत जगत् में भी सन्निकटतः वास्तविक सिद्ध होते हैं। फिर भी उनकी उपयोगिता सीमित होती है। प्रत्येक ऐसी आदर्शिकरण की मायता उसके 'परिपूरक' आदर्शिकरण की मायता के द्वारा सीमित है। इस दृष्टि से हम यह कह सकते हैं कि कणिकाओं का अस्तित्व वास्तविक है क्योंकि उनके अस्तित्व को मान लेने से बहुत-सी घटनाओं की व्याख्या हो जाती है। किन्तु जब अनेक घटनाओं में यह कणिका रूप तो बहुत-कुछ छिपा रहता है और केवल तरंग रूप ही प्रकट होता है। हमारा मस्तिष्क जिन बहुत-कुछ योजनात्मक आदर्शिकरणों का निर्माण करता है वे वस्तु-तत्त्वा के कुछ पक्षों का निरूपित करने में तो समर्थ होते हैं किन्तु उनकी भी अपनी सीमाएँ हैं और वे अपने परिदृष्ट ढाँचा में वास्तविकता की सम्पूर्ण सम्पदा को समाविष्ट नहीं कर सकते।

हम नवीन दृष्टिकोणों के इस प्रारम्भिक पर्यवेक्षण को जिसमें हमने क्वांटम भौतिक विज्ञान के विकास की ओर-ओर की ओर दिशा दी है बहुत अधिक लम्बा नहीं करना चाहते। इस पुस्तक में आगे चलकर इन प्रश्नों में से एक-एक की पुनः विचार विवेचना तथा पूर्ण समीक्षा करने का अवसर हमें मिलेगा। जितना हमने यहाँ कह दिया है वही पाठक का यह बताने के लिए पर्याप्त है कि क्वांटम विज्ञान की उपयोगिता कितनी गहरी है। हमें न केवल भौतिक विज्ञान की अत्यधिक

विवेक और उत्साहपूर्ण शाखा पारमाणविक भौतिकी का उत्तेजना मिली है, विद्वत्तु मने निर्विवाद रूप से हमारी दृष्टि-सीमा का भी विस्तारित कर दिया है और ऐसी ई नवीन विचारधाराओं का भी जन्म दिया है जिनके चिह्न मानव विचारों की विप्लव प्रगति में निस्सन्देह सदा विद्यमान रहेंगे। इस कारण क्वांटम भौतिकी में बल विवेक की ही रचि नहीं हानी चाहिए। यह तो सभी मुमस्तुत मनुष्यों के लिए नातव्य वस्तु हो गयी है।

० चिर-प्रतिष्ठित यांत्रिकी और भौतिकी सन्निकटन^१ मात्र है

अब हम संक्षेप में यह विचार करना चाहते हैं कि क्वांटम-बैज्ञानिक की दृष्टि में इस समय समस्त चिर-प्रतिष्ठित यांत्रिकी तथा भौतिकी का मूल्य क्या रहा है। जिन तथ्यों के लिए इनका निर्माण किया गया था और जिनके सम्बन्ध में इनकी सच्चाई प्रमाणित हो चुकी है उनके क्षेत्र में स्वभावतः अब भी इन विज्ञानों का मूल्य ज्या-था-त्या है। क्वांटम के आविष्कार से मारी पिंडा के पतन सम्बन्धी नियमों अथवा ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान^२ के नियमों की सत्यता किसी तरह नष्ट नहीं हो सकती। जब कभी किसी नियम का सत्यापन^३ सन्निकटन की किसी कोटि तक निर्विवादित हो जाता है (और प्रत्येक सत्यापन में किसी न किसी कोटि का सन्निकटन निहित रहता ही है) तब हम एक निश्चित परिणाम का प्राप्त कर लेते हैं जिसको कोई आगामी परिवर्तन नष्ट नहीं कर सकती। यदि ऐसा न होता तो किसी प्रकार का विज्ञान संभव ही नहीं हो सकता था। किन्तु यह अच्छी तरह सम्भव है कि नवीन प्रायोगिक तथ्यों के अथवा नयी सैद्धांतिक धारणाओं के कारण में यह मानना पड़े कि पहले के सत्यापित नियम सन्निकटत ही सत्य थे अर्थात् सत्यापन के प्रयोगों की यथायता में असीम वृद्धि कर देने पर भी उन नियमों की सत्यता अधिक यथायतापूर्वक प्रमाणित नहीं की जा सकती। विज्ञान के इतिहास में ऐसा कई बार हो चुका है। इसी प्रकार यद्यपि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के नियमों यथा प्रकाश का सरल रेखात्मक गमन^४) यथायतापूर्वक सत्यापित हो चुके थे और विश्वास हो गया था कि वे पूर्णतः सत्य हैं तथापि जिस दिन विवर्तन^५ की घटना का प्रकाश के तरंगरूप का आविष्कार हुआ उसी दिन यह मानना पड़ा कि ये नियम केवल सन्निकटत ही सत्य हैं। इस उत्तरोत्तर सन्निकटन की विधि से ही नवीन पूर्वापर विरोध के विज्ञान की प्रगति सम्भव हुई है। जिन भवनों का विज्ञान

द्वारा मजबूती से निर्माण हो चुका है वे उत्तरकालीन प्रगति के द्वारा उखाड़ कर फेंक नहीं दिये जाते वरन् वे विशालतर भवना में सन्निविष्ट कर लिये जाते हैं।

चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी और भौतिकी भी इसी प्रकार क्वाटम भौतिकी में सन्निविष्ट समझे जा सकते हैं। चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी तथा भौतिकी का निमाण उन घटनाओं की व्याख्या के लिए हुआ था जो साधारण मानव मापदंडीय क्षेत्र में होनी रहती हैं। वे इनसे बृहत्तर (खगोलीय) क्षेत्र के लिए भी मान्य हैं। किन्तु जब हम पारमाणविक क्षेत्र में उतर आते हैं तब चिरप्रतिष्ठित विज्ञान की सत्यता क्वाटमा के अस्तित्व के कारण सीमित हो जाती है। ऐसा क्या होता है? इसलिए कि 'प्लांक' के विख्यात नियतांक के द्वारा मापे हुए त्रिया के क्वाटम का मान हमारे साधारण मात्राओं की अपेक्षा असाधारण रूप से कम है। अर्थात् क्वाटम उन सब राशियों की अपेक्षा अत्यन्त छोटा है जो हमारे मानव मापदंडीय क्षेत्र में पायी जाती हैं। क्वाटमा के अस्तित्व के कारण और विशेषकर हाइड्रोजन की अनिश्चितताओं के कारण जो विक्षोभ उत्पन्न होते हैं वे मानवीय क्षेत्र की साधारण अवस्थाओं में इतने छोटे होते हैं कि उनका हमें पता ही नहीं चल सकता। वस्तुतः वे उन अनिवार्य प्रायोगिक भूलों की अपेक्षा भी अत्यन्त ही छोटे होते हैं जिनके कारण चिरप्रतिष्ठित नियमों का सत्यापन सदैव सीमित रहता है।

अतः क्वाटम सिद्धान्तों की दृष्टि से चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी और भौतिकी सिद्धान्तों पूरी तरह से यथार्थ नहीं मालूम पड़ती। साधारण अवस्थाओं में प्रायोगिक भूलों के कारण उनकी अयथार्थता इस प्रकार पूरी तरह से छिप जाती है कि मानव मापदंड से उन्हें अत्युत्तम सन्निकटन समझा जा सकता है। यह बात फिर वैज्ञानिक प्रगति की उसी नियमित परम्परा का निदर्शन करती है जिसमें सुसंस्थापित सिद्धान्त और सु-सत्यापित नियम ज्यों-के-तथा सुरक्षित तो रहते हैं किन्तु उन्हें कुछ विशेष प्रकार की घटनाओं के लिए उपयोगी सन्निकटनों के रूप में ही सत्य समझा जा सकता है।

साधारण मानवीय क्षेत्र में क्वाटमा का हस्तक्षेप न होने में चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी और भौतिकी में आभासी सत्यता दिखाई देती है उसमें शायद हमें यह कहने का प्रलोभन हो सकता है कि "वस्तुतः क्वाटमा को जितना महत्त्व दिया जाना है उतना उनमें है नहीं क्योंकि जिन विज्ञान क्षेत्रों में चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी और

भौतिकी सत्य है और विशेषतः जिस क्षेत्र में उनका व्यावहारिक उपयोग होता है उसमें क्वांटमा की पूर्णरूप से उपेक्षा की जा सकती।” किन्तु इस विषय को इस नज़र से देखना हमें युक्तिसंगत नहीं मालूम होता। सबसे पहले तो पारमाणविक और नाभिकीय^१ भौतिक विज्ञान के समान महत्वपूर्ण प्राणवान और भविष्य सम्भावनाओं* से परिपूर्ण क्षेत्र में क्वांटमा की अनिवार्य उपयोगिता है और बिना इनकी सहायता के घटनाओं की व्याख्या पूर्णतः असम्भव है। फिर स्थूल मापदंडीय भौतिकी में भी यद्यपि क्वांटम अपनी सूक्ष्मता के तथा नापने की प्रक्रिया में उपस्थित अनिवार्य अनिश्चितता के कारण अप्रकट ही रहते हैं तथापि वे विद्यमान तो होते हैं और उनके अस्तित्व के फलस्वरूप सिद्धान्त वे सब परिणाम भी उपस्थित करते हैं जिनका हम ऊपर गिना चुके हैं। यद्यपि व्यवहार में इनका कोई प्रभाव अनुभव-गम्य नहीं होता तथापि इस बात में उनकी व्यापक दार्शनिक उपयोगिता में कोई कमी नहीं आती। अतः आजकल क्रिया के क्वांटम का ज्ञान और उसका अध्ययन प्राकृतिक विज्ञान का एक आवश्यक आधार है।

१ Nuclear

*यह वाक्य दस वर्ष पहले लिखा गया था। परमाणु बम के आधुनिक प्रत्यक्षीकरण से यह भली भौति प्रकट हो गया है कि व्यावहारिक अनुप्रयोग के क्षेत्र में पारमाणविक तथा नाभिकीय भौतिक विज्ञान की प्रगति के बिना गहरा परिणाम हो सकता है। (यह नोट १९४६ में जोड़ा गया था)

होता है कि आकाश में होनेवाली विभिन्न गतियाँ का निरपेक्ष अध्ययन कर लेने के बाद ही यह प्रश्न उठाया जाय कि किन कारणों से और किन नियमों के अनुसार अमुक परिस्थिति में अमुक प्रकार की गति वस्तु उत्पन्न होती है। यह दृष्टिकोण कितना ही स्वाभाविक क्या न मालूम हो, फिर भी इसमें एक ऐसी परिवर्तनात्मकता गमित है जिसकी तरफ वर्तमान काल से पहले प्रखरतम बुद्धिवाले भस्तिष्का का भी ध्यान नहीं गया था। यह तो प्रत्यक्ष ही है कि गणितन त्रिविमीतीय (थ्री डाइमेशनल) आकाश में होनेवाली गति का अध्ययन किसी ऐसे प्राचल^१ के फलन^२ के रूप में अध्ययन कर सकता है जिसका काल से तादात्म्य स्थापित किया जा सकता है। किन्तु जब हम भौतिक वस्तुओं की वास्तविक गति का अध्ययन करना चाहते हैं तब यह प्रश्न उपस्थित होता है कि क्या ऐसा निरपेक्ष अध्ययन वास्तव में व्यवहारोपयोगी है। वस्तुतः गतिमिति से गति विज्ञान के चिरप्रतिष्ठित मन्त्रमण में यह परिवर्तनात्मकता निहित है कि त्रिविमीतीय आकाश और काल के निरपेक्ष मस्थान में भौतिक वस्तुओं का अवस्थापन उन भौतिक वस्तुओं के निजो गुणा (यथा द्रव्यमान^३) से स्वतन्त्र रूप में संभव है। यह तो निश्चित है कि जो माधारण भौतिक मापदंडीय वस्तुएँ हमारे चारों ओर विद्यमान हैं उनका तो आकाश और काल में अवस्थापन बिना कठिनाई के हो ही सकता है। इन्हीं वस्तुओं—विशेषतः ठोस वस्तुओं—के गुणों से ही तो हम उस त्रिविमीतीय आकाश की कल्पना करने में समर्थ हुए हैं जिसमें ये वस्तुएँ अवस्थित हैं और इन्हीं वस्तुओं की विभिन्न गतियाँ के द्वारा ही हम काल के प्रवाह और उसके माप की यथार्थता-पूर्ण परिभाषा भी दे सके हैं। अतः यह नितांत स्वाभाविक है कि इन वस्तुओं के लिए वैज्ञानिक यांत्रिकी की विधि फलवती है और उससे वे सब सफलतापूर्वक प्राप्त हैं जिनसे हम मुपगमिन् हैं। किन्तु यह अत्यन्त साहसिक जनित्रम हागा यदि पारमाणविक भौतिकी के विकास के प्रारम्भ काल के समान ही आज भी हम यह समझें कि त्रिविमीतीय जाग में और काल में भौतिक वस्तुओं के अवस्थापन की सम्भावना को द्रव्य की मूल गणितात्मा अर्थात् अमाधारण रूप से हल्की वस्तुओं के लिए भी अपरिवर्तित रूप में विस्तारित किया जा सकता है। वास्तव में आकाश और काल की चिरप्रतिष्ठित धारणाएँ इन चरम-मूलभूत वस्तुओं के लिए अब मान्य नहीं हैं और अब उनका उपयोग करने के लिए हमें जनेत्र प्रतिस्था और अनिश्चितताओं का स्वीकार करना आवश्यक हो गया है। यही बात क्वांटम मिडान्स् का मन्त्र अधि-

विचिन्ता ह। जाग चक्कर हमे इस प्रश्न पर अधिक विचारपूर्वक विचार करना पड़ेगा। इस समय तो यह बुरा दवा ही पचाए जा रहा है। भौतिक विज्ञान की गति का वर्णन और अध्ययन के लिए चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी न तो माग ग्रहण किया जा वह जिस प्रच्छन्न पक्षि पना पर आधारित था उसकी सत्यता बड़ा साधारण मापदंडीय वस्तुओं के लिए ही सुनिश्चित है।

७ द्रव्य-विन्दु के गति-विज्ञान सम्बन्धी न्यूटन के नियम

आज का ज़ोर काल के सस्थान में भौतिक विज्ञान का यथायथापूर्ण निरूपित करने की संभावना का आधार मानकर चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी अपना अध्ययन उस सरलतम अवस्था में प्रारम्भ करती है जिसमें भौतिक वस्तु का द्रव्यमान^१ तो उपक्षेपाय न हो, किन्तु विस्तार उपनीय हो। गति विज्ञान के नियमों के स्पष्टीकरण के प्रारम्भ में ही वैज्ञानिक यांत्रिकी में द्रव्य की भूत कणिका की जा स्वरूप इन प्रकार प्रस्तुत की जाती है वह द्रव्य की अमूर्त संरचना की धारणा से बचना है और जब आज से आगे आता-दी पड़े भौतिक विज्ञान के ज्ञान में द्रव्य का गणितीय मूल-कणिका के समुदाय के रूप में चित्रित करने का प्रयत्न कर रहे थे तो द्रव्य विन्दु के गति विज्ञान ने उनके सैद्धांतिक अनुमानों के लिए आवश्यक साधन सहज में ही प्रस्तुत कर दिया था।

द्रव्य विन्दु के गति विज्ञान का प्रारम्भ अवस्थितिक^२ के नियम से होता है जिसके अनुसार जब तक किसी द्रव्य विन्दु पर किसी बाह्य बल का प्रभाव न पड़े तब तक वह काल के प्रवाह में अपनी गति अथवा स्थिति की अवस्था का ज्या-की-रखा सुरक्षित रखता है। कम से कम यह उक्ति उस समय तो यथार्थ है ही जब द्रव्य विन्दु की गति उन निर्देशांक-तंत्रों^३ के द्वारा व्यक्त की जाती है जिन्हें गैलीलीय-तंत्र^४ कहते हैं यानि वह तंत्र जो अचल न तन्त्र-समूह में आवद्ध ह। इन गैलीलीय तंत्रों की अधिमापना की व्याख्या निम्न प्रकार की गयी थी—जिस त्रिविधनीय आकाश में भौतिक वस्तुओं का अवस्थापन किया जाता है उसका निरूपण समझने के कारण गैलीलीय तंत्र की निर्देशांकों^५ उस निरूपण आकाश की अपेक्षा या तो अचल हानी है या अचर वेग से सरकरे रहता में गमन करती है।

अवस्थितिक के सिद्धान्त के अनुसार स्वतंत्र द्रव्य विन्दु की गति सरल रेखात्मक

होती है और उमका वेग अपरिवर्ती होता है। वेग का मान शून्य हो जाने पर उमकी अवस्था विराम अवस्था कहलाती है। अतः यह समझ लेना बहुत स्वाभाविक है कि यदि उम द्रव्य बिन्दु पर कोई बल लगाया जाय तो उम बल का परिणाम यह होगा कि उमका वेग बदल जायगा। इसके लिए जो सरलतम परिवर्तना¹ स्वीकार कर ली गयी है वह यह है कि वेग का तात्कालिक परिवर्तन बल का अनुपाती होता है और जितने ही अधिक अवस्थितित्व के द्वारा वह द्रव्य बिन्दु इस परिवर्तन का विरोध करता है उतना ही इस वेग-बल-अनुपात के गुणांक का मान भी छोटा होता है। इस प्रकार एक अवस्थितित्व गुणांक (अर्थात् द्रव्यमान) के द्वारा उस द्रव्य बिन्दु को परिमित करने की प्रवृत्ति उत्पन्न होनी है। परन्तु द्रव्य बिन्दु के गति विज्ञान का मूल नियम यह हो जाता है—प्रत्येक क्षण पर द्रव्य बिन्दु का त्वरण² उस पर लगनेवाले बल में उसके द्रव्यमान का भाग देने से प्राप्त भागफल के बराबर होता है। यह ध्यान देने योग्य बात है कि गति विज्ञान में द्रव्यमान का गुणांक, जिसका कार्य द्रव्य बिन्दु को गतिकीय दृष्टिकोण से परिलक्षित करना है, बाद में प्रविष्ट हुआ है अर्थात् उस द्रव्य बिन्दु के सुनिश्चित स्थान गमन-पथ वगैरह तथा त्वरण के अस्तित्व को मान लेने के बाद। यह बात उस व्यवस्था के अनुकूल है जिसमें गतिमिति को गति विज्ञान से पूर्ववर्ती समझा जाता है।

द्रव्य बिन्दु के चिरप्रतिष्ठित गतिकीय समीकरण यह बताते हैं कि उस बिन्दु के द्रव्यमान का और उसके त्वरण के किसी भी समकालिक सघटक³ का गुणनफल बल के तदानुपगतिक⁴ सघटक के बराबर होता है। यदि समय के सब माना के लिए प्रत्येक स्थान पर बल ज्ञान समझ लिया जाय तो हमें समय-सापेक्ष द्वितीय श्रेणी⁵ के तीन अवकल-समीकरणा के सघ का हल निकालना होगा जिसमें अज्ञात राशियाँ उस बिन्दु के निर्देशांक⁶ होंगे। बैस्लेपिक गणित का एक प्रख्यात प्रमेय हमें यह बताता है कि यदि किसी प्रारम्भिक क्षण पर निर्देशांक के तथा उनके काल सापेक्ष व्युत्पत्तों अथवा अवकलजों के मान ज्ञात हों तो उस समीकरण-सघ का हल पूर्णतः निर्णीत⁷ होता है। अर्थात् यदि किसी भी एक क्षण पर किसी द्रव्य बिन्दु का स्थान और वेग ज्ञात समय जायें तो उसकी परवर्ती गति की प्राग्विक पूर्णतः सम्भव है। यह परिणाम इस बात का द्योतक है कि द्रव्य बिन्दु का चिरप्रतिष्ठित गति विज्ञान भौतिक नियतिवाद की परिवर्तना के सबया अनुकूल है। इस

1 Hypothesis 2 Acceleration 3 Component 4 Corresponding
5 Second order 6 Coordinates 7 Derivatives 8 Determinate

परिकल्पना के अनुसार यदि भौतिक जगत की वर्तमान स्थिति के सम्बन्ध में कुछ 'यासा' का ज्ञान विद्यमान हो तो उसकी आगामी स्थिति के विषय में निश्चित रूप में भविष्यवाणी सम्भव होनी चाहिए।

यह एक जोर बात भी कह देना उचित है। द्रव्य बिन्दु का ज्यामितीय बिन्दु मान लेने के कारण उसका गमन पथ ऐसी रेखा हा जाता है जो त्रिविमीतीय आकाश में केवल एक विमितीय मातृत्यक^१ का अवेषण करती है। गमनपथ के प्रत्येक बिन्दु पर बल के जिम मान का प्रभाव द्रव्य बिन्दु पर पड़ता है वही परवर्ती अनन्त-सूक्ष्म क्षण में हानेवाली उसकी गति का निर्णय करता है। जब वह द्रव्य बिन्दु बल क्षेत्र का अवेषण केवल अपने गमन पथ पर ही करता है। फिर भी यह कहा जा सकता है कि वास्तव में उसकी गति गमन पथ के अत्यन्त निकटवर्ती प्रदेश के बल क्षेत्र पर भी अवलम्बित होती है। क्योंकि समस्त भौतिक समस्याओं में साधारणतः बल क्षेत्र का आकाश में इस प्रकार सतत परिवर्तन होता है कि गमन पथ के किसी भी बिन्दु पर बल का मान गमन पथ से अव्यवहित प्रतिवेश के बल माना से स्वतन्त्र नहीं होता। यह बात उन बहुधा घटनेवाली अवस्थाओं में ता स्पष्टतः प्रकट हो जाती है जिनमें बल किसी विभव^२ का व्युत्पन्न होता है जहाँ जिनमें किसी भी बिन्दु पर बल का मूल्य उस बिन्दु के स्थान के किसी विनिष्ट फलन^३ की प्रवणता^४ के बराबर होता है। सच तो यह है कि प्रवणता की परिभाषा में यह पहले से ही मान लिया जाता है कि विचाराधीन बल जिम बिन्दु पर लगता है वह अनन्ततः अल्प माना में इस उपर विचरित किया जा सकता है। इसलिए गमन पथ के प्रत्येक बिन्दु पर बल का मान गमन पथ से अव्यवहित प्रतिवेशी प्रदेश के विभव के माना पर अवश्य ही अवलम्बित रहता है। 'यूनितम निया के नियम'^५ के द्वारा भी जिमना वणन हम आगे चलकर करेंगे यही परिणाम निकलता है क्योंकि इस सिद्धान्त के अनुसार किसी द्रव्य बिन्दु के वास्तविक गमन पथ जहाँ गति विज्ञान के नियमों द्वारा निर्दिष्ट गमन पथ का उससे अनन्ततः निकटवर्ती कल्पित गमन पथ से तुलना करके ही निर्णय किया जाता है और गति का इस प्रकार निर्णय करने में वास्तविक गमन-पथ से अनन्ततः निकटवर्ती पूरे प्रदेश का प्रभाव भी निहित रहता है। निम्न चिरप्रतिष्ठित यात्रिकी में उन स्थानीय विलक्षणताओं का गति पर कुछ भी प्रभाव नहीं पड़ माना जा द्रव्य बिन्दु के गमन-पथ से परिमित^६ दूरी पर अवस्थित है। उदाहरण

यदि हम मान लीजिए कि द्रव्य बिन्दु के गमन-पथ में छोटे से छिद्रवाला एक परदा रख दिया गया है। यदि गमन-पथ द्वारा छिद्र के पक्ष में से जाता है तो परदे द्वारा प्रस्तुत स्थायी विलक्षणता गमन-पथ में कोई विचार उत्पन्न नहीं करेगी। विपरीत इससे यदि गमन पथ छिद्र की पार के आसपास बिगड़ से जाता है तो यह देखा जा सकता है और प्रचलित भाषा में हम यह कहते हैं कि कणिका छिद्र की पार से धाँसी सी मुड़ जाती है। किन्तु चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी में इस बात की परीक्षा भी नहीं की जा सकती है कि उस छेद में से गुजरनेवाला द्रव्य बिन्दु की गति उस छेद से परिमित दूरी पर अवस्थित अन्य छेद का अस्तित्व पर अवलम्बित हो सकती है। इस समस्या का महत्व सुरत समझ में आता है क्योंकि यहाँ के व्यतिरिक्त प्रयोग के कणिका मलय नियम का इस स्पष्ट सम्बन्ध है और तरंग-गति की भविष्य में जो कुछ बातें हमारे समक्ष इस सम्बन्ध में प्रस्तुत करती हैं। पूरा परिणाम भी मिल जाता है। द्रव्य बिन्दु के चिर प्रतिष्ठित यांत्रिकीय समीकरणों के द्वारा द्रव्य बिन्दु की गति का परिलक्षित करनेवाली दो गतिवीय राशियाँ की धारणा उत्पन्न हुई है। इसमें से पहली तो एक दिष्ट राशि है जिसे हम 'समय' कहेंगे और चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी में इसकी परिभाषा यह है कि समय द्रव्य बिन्दु के द्रव्य मात्रा तथा यहाँ का गुणनफल है। इस राशि का महत्व गति के समीकरणों से ही उत्पन्न हुआ है। क्योंकि इस समीकरणों का यह कहकर भी व्यक्त किया जा सकता है कि समय का बाल-सापेक्ष अवयव-गुणांक द्रव्य बिन्दु पर लगाया जाये तो वे बराबर रहते हैं। प्रष्ट है कि चिरप्रतिष्ठित सिद्धांत में यह गतिवीय राशि गतिगतीय राशि यहाँ से द्रव्यमान के गुणांक द्वारा गति गुणन की सहायता से प्राप्त की गयी है। तथापि यहाँ और समय की प्रकृतियों में जो भारी अंतर दिखाई देता है क्योंकि इसमें से द्वितीय राशि किसी विशिष्ट द्रव्य बिन्दु के निजी गतिवीय गुणों का प्रष्ट करती है।

यही बात उम्र दूरी राशि (ऊर्जा) पर भी लागू है जिसे हम ऊपर उचित कर चुके हैं। यह राशि अदिष्ट है और जिसे महत्वपूर्ण अवस्था में बल किसी विभव फलन के व्युत्पन्न होता है उम्र में इन राशियों का वास्तविक आयोजन है। यदि प्रत्यक्ष बिन्दु पर विभव में वास्तविक परिवर्तन नहीं होता है तो गति-समीकरणों के गुणांक पर परिणाम निम्नलिखित है कि द्रव्य बिन्दु का अवस्था द्वारा निर्दिष्ट एक विशिष्ट

1 Young 2 Interference experiment 3 Corpuscular Interpretation
4 Wave mechanics 5 Vectorial quantity 6 Momentum 7 Differential
coefficient 8 Energy 9 Scalar 10 Potential function

आगे हम देखेंगे कि आधुनिक क्वांटम सिद्धांत में ये राशियाँ सबका भिन्न रूप में प्रकट होती हैं।

३ द्रव्य-विन्दु-निकायो का गति-विज्ञान^१

द्रव्य विन्दु के गति विज्ञान में हम यह मान लेते हैं कि प्रत्येक क्षण पर और प्रत्येक आकाशीय विन्दु पर बल क्षेत्र का मान निश्चित है। किंतु चिरप्रतिष्ठित यान्त्रिकीय बारणाभा के अनुसार जो बल-क्षेत्र किसी द्रव्य विन्दु पर कार्य करता है वह स्वयं अन्य द्रव्य विन्दुओं द्वारा उत्पन्न होता है। इस प्रकार हमें स्वभावतः परस्पर प्रभावकारी द्रव्य विन्दुओं के निकायों की कल्पना करना पड़ता है और उनकी संभाव्य गतियों का निणय करना पड़ता है। सरसरी दृष्टि से यह समस्या जटिल मालूम हो सकती है क्योंकि हम निकाय का प्रत्येक द्रव्य विन्दु इसी निकाय के अन्य द्रव्य विन्दुओं के प्रभाव से विस्थापित होता है और इस विस्थापन का यह परिणाम होता है कि किसी एक द्रव्य विन्दु द्वारा अन्य द्रव्य विन्दुओं पर लगनवाले समस्त बल बदल जाते हैं। फिर भी वैश्लेषिक दृष्टिकोण से यह समस्या सरल रूप में पस्तुत की जा सकती है। हम या कहेंगे कि प्रत्येक द्रव्य विन्दु के लिए प्रत्येक क्षण पर द्रव्यमान और त्वरण का गुणनफल उस पर लगनेवाले तात्क्षणिक बल के बराबर होता है। स्वभावतः ही यह बल उस निकाय के अन्य द्रव्य विन्दुओं के स्थानों पर अवलम्बित होता है। इस प्रकार N सस्यक द्रव्य विन्दुओं के निकाय के लिए हमें उन N द्रव्य विन्दुओं के $3N$ निर्देशांकों के काल मापेक्ष द्वितीय श्रेणी^१ के $3N$ अवकल-समीकरणों का सघ प्राप्त हो जाता है। यदि किसी क्षण विशेष पर उस निकाय के समस्त द्रव्य विन्दुओं के स्थान और वेग हमें ज्ञात हों तो गणितीय विश्लेषण प्रकट करता है कि इस समीकरण-सघ का पूर्णतः निर्णीत हल प्राप्त हो सकता है। और इस प्रकार अकेले एक द्रव्य विन्दु की गति के लिए जो यान्त्रिक प्राक् निर्णीतता^२ स्थापित हो चुकी है वही अनेक द्रव्य विन्दुओं के निकाय के लिए भी विस्तारित हो जाती है।

द्रव्य विन्दु निकायों की गतियों का अध्ययन गुच्छ-केन्द्र^३ पर विचार करने से बहुत ही सरल हो जाता है। यह बात ही है कि गुच्छ केन्द्र उस निकाय के समस्त विन्दुओं का भारित माध्य^४ स्थान होता है। यदि निकाय पर बाह्य बल न लग रहा हो तो इस विन्दु की गति सरल रेखात्मक तथा अचर वेगवाली प्रमाणित होती है।

1 The Dynamics of Systems of Material Points 2 Order 3 Determinism 4 Centre of gravity 5 Weighted mean

यह यांत्रिकी में निविष्ट बल के उम व्यापक गुण का परिणाम है जिसे प्रिया¹ और प्रतियोगी² की समता का नियम का द्वारा व्यक्त किया जाता है। इस नियम का अनुमान कोई द्रव्य बिन्दु का जितना बल किसी अन्य द्रव्य बिन्दु पर लगाता है उतना ही विपरीत बल पर भी का पर लगाता है। जब उम नियम में स्थितिज ऊर्जा³ विद्यमान होती है तब इस नियम का मतलब यह मानना है कि यह स्थितिज ऊर्जा केवल उन द्रव्य बिन्दुओं की पारस्परिक दूरियाँ पर ही अवलम्बित होती है और यह परिवर्तनशील नीतिन⁴ विचारण में बहुत स्वाभाविक भी है। इस प्रकार 'नव यांत्रिकी' में नियम नियम की गति का निर्णय करने की समस्या का भाग में विभाजित की जा सकती है। पहले तो गुरुत्व-केन्द्र की गति का अध्ययन कर लिया जाता है और तब उमी गुरुत्व-केन्द्र के परितः नियम का घूर्णन की गति का अध्ययन किया जाता है। गुरुत्वात्मान प्रमेय की एक पूरी गणना के द्वारा यह अध्ययन सुकर हो गया है।

द्रव्य बिन्दु नियम का मध्य की अति सरल परिभाषा यह है कि वह नियम के अवयव बिन्दुओं के समता का ज्यामितीय योग⁵ होता है। प्रत्येक बिन्दु के द्रव्यमान और बल के गुणनफल के योग में उमका व्यजक⁶ बनता है। इस व्यजक में सदैव योग की धारणा का उपयोग होता है। और नियम की ऊर्जा में मदद एक गतिज भाग निविष्ट रहता है जो विभिन्न द्रव्य बिन्दुओं की गतिज ऊर्जाओं के योग का बराबर होता है। इसका व्यजक प्रत्येक बिन्दु के द्रव्यमान के और बल के बल⁷ का गुणनफल के योग के जाधे का बराबर होता है। किन्तु यदि नियम स्थिराज हो तो उमकी ऊर्जा में एक भाग स्थितिज ऊर्जा का भी होता है जो स्वयं भी का भाग में विभक्त होता है। पहला भाग तो उन स्थितिज ऊर्जाओं के जाड का बराबर होता है जो सम्पूर्ण नियम पर प्रभावकारी बाह्य बल-क्षेत्र के कारण प्रत्येक द्रव्य बिन्दु में विद्यमान होती है। स्थितिज ऊर्जा का दूसरा भाग सब द्रव्य बिन्दुओं की पारस्परिक ऊर्जा⁸ है जो दा-दा बिन्दुओं के प्रत्येक युग्म की पारस्परिक स्थितिज ऊर्जाओं के जाड के बराबर होती है। बाह्य बल-क्षेत्र के अभाव में केवल यह दूसरा भाग ही विद्यमान रहता है। सबसे अधिक उल्लेखनीय बात यह है कि यह पारस्परिक स्थितिज ऊर्जा प्रत्येक द्रव्य बिन्दु में अलग-अलग समारोपित स्थितिज ऊर्जाओं के जाड के रूप में विघटित नहीं हो सकती। प्रत्येक अयोय प्रभावक⁹ बिन्दु-युग्म के लिए स्थितिज ऊर्जा का एक प्रकार का संकोपण¹⁰ हो जाता है जिसके कारण उन द्रव्य बिन्दुओं के

1 Action 2 Reaction 3 Potential energy 4 Rational Mechanics
5 Geometrical sum 6 Expression 7 Square 8 Mutual energy 9 Inter-acting 10 Pooling

आगे हम देखेंगे कि आधुनिक क्वांटम सिद्धांत में ये राशियाँ सर्वथा प्रकट होती हैं।

३ द्रव्य-विन्दु-निकायो का गति-विज्ञान^१

द्रव्य विन्दु के गति विज्ञान में हम यह मान लेते हैं कि प्रत्येक क्षण प्रत्येक आकाशीय विन्दु पर बल-क्षेत्र का मान निश्चित है। विन्दु यांत्रिकीय धारणाओं के अनुसार जो बल-क्षेत्र किसी द्रव्य विन्दु पर वह स्वयं अथ द्रव्य-विन्दुओं द्वारा उत्पन्न होता है। इस प्रकार प्रभावकारी द्रव्य विन्दुओं के निकायो की कल्पना करना पड़ता है और गतियों का निणय करना पड़ता है। सरसरी दृष्टि से यह समस्या सकती है क्योंकि इस निकाय का प्रत्येक द्रव्य विन्दु इसी निकाय विन्दुओं के प्रभाव से विस्थापित होता है और इस विस्थापन का यह है कि किसी एक द्रव्य विन्दु द्वारा अथ द्रव्य-विन्दुओं पर लगनेवाले जाते हैं। फिर भी वैश्लेषिक दृष्टिकोण से यह समस्या सरल रूप सकती है। हम या कहेंगे कि प्रत्येक द्रव्य विन्दु के लिए प्रत्येक और त्वरण का गुणनफल उस पर लगनेवाले तात्क्षणिक बल के स्वभावतः ही यह बल उस निकाय के अन्य द्रव्य विन्दुओं के होता है। इस प्रकार N संख्यक द्रव्य विन्दुओं के निकाय के लिए विन्दुओं के $3N$ निर्देशकों के बल-सापेक्ष द्वितीय श्रेणी^१ के $3N$ का सघ प्राप्त हो जाता है। यदि किसी क्षण विशद पर द्रव्य विन्दुओं के स्थान और वेग हमें ज्ञात हों तो गणितीय कि इस समीकरण-सघ का पूर्णतः निर्णीत हल प्राप्त हो सकता अकेले एक द्रव्य विन्दु की गति के लिए जो यांत्रिक पुष्टी है वही अनेक द्रव्य विन्दुओं के निणय के

द्रव्य विन्दु निकायों की गतियों का अध्ययन बहुत ही सरल हो जाता है। यह बात ही है कि गुस्त्व विन्दुओं का भारित माध्य स्थान होता है। यदि निकाय हो तो इस विन्दु की गति सरल रेखात्मक तथा अचर

1 The Dynamics of Systems of Material
minimum 4 Centre of gravity 5 Weighted

तथापि यह मान लेना बड़ी साहसिक परिकल्पना है कि ठाम वस्तुआ के प्रेरण से प्राप्त जोर परिधावित आकाश-वालीय धारणाएँ अपरिप्रतिन रूप में मूल-वर्णिकाआ और द्रव्य बिन्दुआ पर भी लागू होगी। यह भली भाँति स्वीकार किया जा सकता है कि मूल वर्णिकाआ पर लागू करने के लिए उन धारणाआ में अत्यंत गहन परिवर्तन की आवश्यकता हो सकती है। केवल यही एक शत अनिवाय है कि ये धारणाएँ ऐसी ही रहे कि मूल वर्णिकाआ के गुणा को मान लेने पर उनके द्वारा ही और वर्णिकाआ के निवाय में भौतिक वस्तुआ के—विशेषतः ठाम वस्तुआ के—नमस्त नात गण तथा आकाश और काल की साधारण परिभाषाएँ पुनः प्राप्त हो सकें। इस दृष्टिकोण के महत्त्व पर जीन लुई डिस्टू शे^१ ने हाल में ही बहुत जोर दिया है किन्तु मम्मवत यह चिरप्रतिष्ठित शुद्ध यात्रिकी द्वारा प्रतिपादित विधि के विरुद्ध कोई वास्तविक आपत्ति उपस्थित नहीं करता क्योंकि उनमें द्रव्य बिन्दु को मूल वर्णिका न मानकर उसकी यह परिभाषा दी जा सकती है कि वह द्रव्य का उपेक्षणीय आकारवाला छाटा भा टुकड़ा तो होता है किन्तु उसमें मूल वर्णिकाआ की प्रचुर संख्या विद्यमान रहती है। किन्तु पारमाणविक भौतिक विज्ञान में जब हम मूल वर्णिकाओं के अस्तित्व को मानकर उन वर्णिकाआ पर उन द्रव्य बिन्दुआ की चिर प्रतिष्ठित यात्रिकी के नियम अथवा आकाश तथा काल की साधारण धारणाओं पर अवलम्बित किसी अन्य प्रकार के नियम लागू करने लगते हैं तब इस आपत्ति की प्रबलता ज्या की त्या बनी रहती है। इस प्रश्न की अधिक विस्तृत विवेचना करने का अवसर हमें फिर मिलेगा। इसलिए यहाँ अधिक न कहकर हम भौतिक निवाया के गति विज्ञान विषयक इन वक्तव्या को यही समाप्त कर देते हैं।

४ वैश्लेपिक यात्रिकी और याकोबी^२ का सिद्धांत

वैश्लेपिक यात्रिकी जिसके साथ लाग्रान्ज^३ जैसे महान व्यक्ति का नाम जुटा हुआ है, मुख्यतः उन विधिया का समुच्चय है जिनकी महत्त्वता से किसी भौतिक निवाय के समीकरण शीघ्रता से लिखे जा सकते हैं यदि हमें उस निवाय के स्थान को निर्णय करनेवाले चरों^४ के विचरण^५ का ज्ञान हो।

यहाँ हमें यह किसी तरह भी अभीष्ट नहीं है कि हम वैश्लेपिक यात्रिकी की विधिया की विस्तृत विवेचना करें। अतः हम अपने वक्तव्य को केवल यह कहकर

निजत्व का एक प्रकार से हास हा जाता है। स्थितिज ऊर्जा के कुछ भाग का यह संकोपण ऐसा गुण है जो सब अन्याय प्रभावक द्रव्य विद्युता के निवाया में लक्षणिक रूप से पाया जाता है और इसी के द्वारा किसी वाह्य-क्षेत्र में अवस्थित पारस्परिक प्रतिप्रिया हीन द्रव्य विन्दु समुदाय से अन्याय प्रभावक निवाय की विभिन्नता व्यक्त हानी है।

द्रव्य विद्युत-निकाया के गति-विज्ञान पर ही ठोस वस्तुआ का गति विज्ञान आधारित है। ठोस वस्तुएँ ऐम द्रव्य विद्युता से बनी हुई समझी जा सकती हैं जिनकी पारस्परिक दूरिया बदल नहीं सकती क्योंकि इन दूरिया में प्रकृत माना की अपेक्षा थोड़ी भी घट-बढ़ हाते ही द्रव्य विद्युता का पारस्परिक बल अत्यधिक बढ़ जाता है। पारस्परिक दूरिया के अपरिवर्ती होने के कारण किसी भी ठोस वस्तु का स्थान प्रत्येक क्षण पर केवल ६ प्राचला^१ के द्वारा परिलक्षित हो सकता है—यथा उस वस्तु के किसी भी यदच्छ विन्दु के तीन निर्देशांक तथा उस विन्दु के परित वस्तु का अनस्थापन^२ निर्धारित करनेवाले तीन काण। जब समस्या अनेक ठोस वस्तुआ की है और इन विभिन्न वस्तुआ के बीच में कोई नियन्त्रक^३ बंधन भी विद्यमान हो तब अविश्व-सम्बन्ध प्राचलो का निवेशन वाछनीय होता है। किन्तु जिन द्रव्य विन्दुआ द्वारा वे ठोस वस्तुएँ निर्मित समझी जायें उनके गति-समीकरणों से प्रारम्भ करके उस वस्तु निकाय के गति-समीकरण सदैव लिखे जा सकते हैं।

इस प्रकार पारमाणविक भौतिक विज्ञान की प्रगति के पहले ही द्रव्य का असतत^४ संरचना मानकर ठोस वस्तुआ की यानिकी का विकास किया गया था। यही यह बात कह देना लाभदायक होगा कि हमारे साधारण अनुभव में हम स्थूल परिमाण की वस्तुआ का ही प्रेक्षण करते हैं, न कि द्रव्य विद्युता का। विद्यमान आकाश और काल का नापने की जिस निया के द्वारा घटनाआ की प्रगति के अध्ययन में परिशुद्धि आती है उसके अधिकांश भाग में ठोस वस्तुआ का ही उपयोग किया जाता है। अतः स्थूल मापदंडीय वस्तुआ और विशेषतः ठोस वस्तुआ के प्रेक्षणा के द्वारा हम जो धारणाएँ बनाते हैं उन्हीं की सहायता से हम द्रव्य विद्युता की गति के नियमों का भी निणय करते हैं। और एक बार इन नियमों के स्वीकृत हो जाने पर ठोस वस्तुआ की द्रव्य विद्युता द्वारा निर्मित मानकर हम उनके यानिक गुणों का पुनः निगमन कर सकते हैं। ऐसा करने में अवश्य ही कोई परस्पर विरोध नहीं है।

तथापि यह मान लेना बड़ी साहसिक परिकल्पना है कि ठाढ़ वस्तुओं के प्रेरण पर प्राप्त और परिणामित आकाश-वालीय धारणाएँ अपरिवर्तित रूप में मूल-वर्णिकाओं और द्रव्य विन्दुओं पर भी लागू होंगी। यह भली भाँति स्वीकार लिया जा सकता है कि मूल वर्णिकाओं पर लागू करने के लिए उन धारणाओं में अत्यन्त गहन परिवर्तन की आवश्यकता हो सकती है। केवल यही एक बात अनिवार्य है कि ये धारणाएँ ऐसी ही रहें कि मूल वर्णिकाओं के गुणों को मान लेने पर उनके द्वारा ही और वर्णिकाओं के निवारण में भौतिक वस्तुओं के—विशेषतः ठोस वस्तुओं के—समस्त घात गण तथा आकाश और काल की साधारण परिभाषाएँ पुनः प्राप्त हो सकें। इस दृष्टिकोण के महत्त्व पर जीन लुई डिस्ट्रु^१ ने हाल में ही बहुत जोर दिया है किन्तु सम्भवतः यह चिरप्रतिष्ठित गुद्ध यांत्रिकी द्वारा प्रतिपादित विधि के विरुद्ध कोई वास्तविक आपत्ति उपस्थित नहीं करता क्योंकि उसमें द्रव्य विन्दु की मूल-वर्णिका न मानकर उसकी यह परिभाषा दी जा सकती है कि वह द्रव्य का उपक्षणीय आधारवाला छटा-सा टुकड़ा तो होता है, किन्तु उसमें मूल वर्णिकाओं की प्रचुर संख्या विद्यमान रहती है। किन्तु पारमाणविक भौतिक विज्ञान में जब हम मूल-वर्णिकाओं के अस्तित्व का मानकर उन वर्णिकाओं पर उन द्रव्य विन्दुओं की चिर-प्रतिष्ठित यांत्रिकी के नियम अथवा आज्ञा तथा काल की साधारण धारणाओं पर अवलम्बित किसी अन्य प्रकार के नियम लागू करने लगते हैं तब इस आपत्ति की प्रवृत्ति उभाड़ी-सी बनी रहती है। इस प्रश्न की अधिक विस्तृत विवेचना करने का अवसर हमें फिर मिलेगा। इसलिए यहाँ अधिक न कहकर हम भौतिक निवारण के गति विज्ञान विषयक इन वस्तुओं को यही समाप्त कर देते हैं।

४ वैश्लेषिक यांत्रिकी और याकोबी^२ का सिद्धान्त

वैश्लेषिक यांत्रिकी जिसके साथ लाग्रान्ज^३ जैसे महान व्यक्ति का नाम जुड़ा हुआ है मुख्यतः उन विधियों का समुच्चय है जिनकी सहायता से किसी भौतिक निवारण के समीकरण शीघ्रता से लिखे जा सकते हैं यदि हमें उस निवारण के स्थान को निर्णीत करनेवाले चरों^४ के विचरण^५ का ज्ञान हो।

यहाँ हमें यह किसी तरह भी जमीन नहीं है कि हम वैश्लेषिक यांत्रिकी की विधियों की विस्तृत विवेचना करें। अब हम अपने वक्तव्य को केवल यह कहकर

ही समाप्त कर देंगे कि ये विधिया अन्ततः दा सुविध्यात समीकरण-संघा का रूप ले लेती है—लाम्राज के समीकरण तथा हैमिल्टन^१ के समीकरण। लाम्राज और हैमिल्टन की विधिया की विपरीतता इस बात में है कि लाम्राज की विधि में तो निम्न की ऊर्जा व्यापकीकृत वेगों^२ के द्वारा अर्थात् स्थान-सम्बन्धी प्राचय के काल सापेक्ष अवकलना के द्वारा निर्दिष्ट की जाती है, किन्तु हैमिल्टन की विधि में वही ऊर्जा व्यापकीकृत सवेगा^३ अथवा लाम्राजीय सवेगा के फलन के रूप में प्रस्तुत की जाती है। परन्तु सनातन धारणाओं के ढाँचे में हम सदैव व्यापकीकृत वेगा से अत्यन्त सरलतापूर्वक लाम्राजीय सवेगा को प्राप्त कर सकते हैं और व्युत्पन्न लाम्राजीय सवेगा से व्यापकीकृत वेगा को भी प्राप्त कर सकते हैं। क्योंकि उसमें सवेगा की परिभाषा सदैव वेगा के द्वारा ही दी जाती है। अतः जहाँ वही लाम्राज के समीकरण और हैमिल्टन के समीकरण दोनों ही सरलतापूर्वक लिखे जा सकते हैं वहाँ उनमें केवल बाह्य रूप मान का अंतर रहता है और अन्तिम विश्लेषण में वे अभिन्न ही होते हैं। किन्तु हम देखेंगे कि क्वांटम-यांत्रिकी में तो समुचित पदान्तरण^४ कर देने पर हैमिल्टन के समीकरणों की साधकता बनी रहती है, किन्तु लाम्राज के समीकरणों के लिए इस बात की कल्पना भी नहीं की जा सकती। यदि हम यह ध्यान में रखें कि क्वांटम सिद्धांत में गतिकीय धारणाओं की साधकता तो विद्यमान रहती है, किन्तु गतिमितीय धारणाएँ अथहीन हो जाती हैं तो यह बात सरलता से समझ में आ जायगी। सनातन विचारानुसार जो सवेग वेग की व्युत्पन्न राशि के समान जान पड़ता है वही क्वांटम-यांत्रिकी में मौलिक तथा स्वतन्त्र राशि का रूप ले लेता है जिसका वेग की धारणा से कोई सम्बन्ध नहीं होता क्योंकि यहाँ वेग की धारणा का अर्थ सब अवस्थाओं में सुनिर्णीत नहीं रहता।

जिस दृष्टिकोण से हम विचार कर रहे हैं उसके अनुसार याकोबी का सिद्धान्त वैश्लेषिक यांत्रिकी का एक अत्यन्त रोचक और महत्त्वपूर्ण परिच्छेद है। वस्तुतः यह सिद्धान्त किसी विशिष्ट बल क्षेत्र में द्रव्य बिन्दु की सभाव्य गतियाँ का ऐसा वर्गीकरण कर देता है कि जिससे पुरातन यांत्रिकी का क्वांटम-यांत्रिकी में सप्रमण मुकर हो जाता है। यहाँ हम याकोबी के सिद्धान्त का विस्तृत विवरण नहीं दे सकते क्योंकि इसके लिए अत्यन्त जटिल गणितीय प्रक्रियाओं की आवश्यकता पड़ेगी। अतः हम इस प्रमण को केवल इस सिद्धान्त के माग्य तक ही सीमित रखेंगे और केवल

1 Hamilton 2 Generalised velocities 3 Generalised momenta

4 Transposition

उम विद्याप, किन्तु महत्त्वपूर्ण अवस्था में उमके उपयोग का ही वर्णन करेंगे जिसमें बल क्षेत्र स्थायी हो अथवा काल से स्वतन्त्र हो। बल क्षेत्र में किसी द्रव्य बिन्दु के समस्त सम्भव गमन पथा का समुदाय ६ प्राचला पर अवलम्बित होता है क्योंकि प्रत्येक गमन पथ द्रव्य बिन्दु के प्रारम्भिक स्थान और प्रारम्भिक वेग पर अवलम्बित होता है। किन्तु इन गमन-पथा का ऐसे कुल^१ में विभाजित करना भी सम्भव है जो केवल ३ प्राचला पर ही अवलम्बित हैं तथा प्रत्येक कुल के गमन पथ इस प्रकार के बने हैं जो किसी विशेष पष्ठ-कुल को अभिलम्बित^२ काटते हैं। तब यदि ऐसा पष्ठ-कुल निर्णीत करने में सफलता मिल जाय तो उसकी अपेक्षा समस्त लम्ब-काणिक^३ वर उम द्रव्य बिन्दु के सम्भव गमन-पथ होंगे। याकोबी का सिद्धांत हमें ठीक यही बात सिखाता है कि किस प्रकार किसी प्रथम श्रेणी और द्वितीय घात के आणविक अवस्था-समीकरण से जिसे याकोबी समीकरण कहते हैं प्रारम्भ करके हम वैसे पष्ठ-कुल को निर्णीत कर सकते हैं। ऊर्जा के हैमिटनीय व्यञ्जक से प्रारम्भ करके ही यह समीकरण प्राप्त किया जाता है। इस व्यञ्जक में प्रत्येक क्षण पर द्रव्य-बिन्दु की ऊर्जा उसके सवर्ग के सघटका के तथा निर्देशांका के तात्क्षणिक माना के फलन के रूप में व्यक्त की जाती है।

इस प्रकार हम देखते हैं कि याकोबी के सिद्धान्त की कृपा से द्रव्य बिन्दु के गमन-पथा की पङ्क्ति अनन्ती^४ का हम ऐसे कुल में वर्गीकरण कर सकते हैं कि प्रत्येक कुल में गमन पथा की त्रिगुण अनन्ती विद्यमान रहती है और प्रत्येक कुल का आनुपगिक एक-एक लम्ब-कोणीय पष्ठ-कुल होता है। गमन पथा का प्रत्येक कुल और उमके आनुपगिक लम्ब-कोणीय पष्ठ-कुल का सम्बन्ध ठीक उसी प्रकार का होता है जिस प्रकार का सम्बन्ध तरंग प्रचरण के तरंगाग्र और किरणों में ज्यामितीय प्रकाश-विज्ञान की विधि में विधित किया जाता है। स्नाटलड निवासी ज्यामिति हर्मिटन का ध्यान एक गताब्दी से अधिक हुआ तब ही इस सादृश्य की जार गया था और उनकी सहायता से ही उन्होंने बदलेपत्र यात्रिकी के इस पक्ष के स्पष्टीकरण की अत्यन्त पथ प्रणाली विधि मालूम की थी। किन्तु क्वांटम सिद्धान्त के आधुनिक विज्ञान के द्वारा ही हम इस मालूम में सरल गणितीय समानता के अतिरिक्त कुछ और भी दान पायें हैं।

1 Families 2 Normally 3 Orthogonal 4 Sextuple Infinity
5 Wave fronts & Rays

द्रव्य विन्दु की इस सनातन धारणा के सम्बन्ध में यह बता देना भी रचिकर होगा कि याकावी के सिद्धान्त द्वारा प्राप्त तरंग प्रचरण के प्रतिरूप का अर्थ केवल अमूर्त रूप में ही हो सकता है। वस्तुतः सनातन विचारधारा में प्रत्येक क्षण पर द्रव्य विन्दु के स्थान और वेग मुनिर्णीत होने हैं और बल-क्षेत्र में वह किसी ऐसे अद्वितीय गमन-पथ पर चलता है जिसका स्वरूप प्रारम्भिक स्थिति के प्रतिबन्धा पर अवलम्बित होता है। याकावी के सिद्धान्त द्वारा वर्गीकृत गमन पथ-कुल में जो गमन-पथ होते हैं वे केवल सभाव्य होते हैं और प्रत्येक दशा में उनमें से केवल एक ही वास्तविक होती है। इसलिए उन गमन पथ-कुल की सायकता बहुत कुछ सारहीन जाती है क्योंकि वे जिन अनेक सभाव्यताओं को प्रकट करते हैं उनमें से अधिक से अधिक केवल एक ही वास्तविक होती है। फिर भी याकावी के सिद्धान्त द्वारा निर्दिष्ट गमन पथ-कुल को सारयुक्त अर्थ देने का भी एक उपाय हो सकता है। मान लीजिए कि हमारे पास अनन्त-मध्यक विलंबित एक-से द्रव्य विन्दु हैं जो एक-दूसरे पर कुछ भी प्रभाव नहीं डालते। तब यह मान देने की सभावना उपस्थित हो जायगी कि वे द्रव्य विन्दु उन विविध कुलों के समस्त गमन-पथा पर सचमुच चल सकते हैं और तब ये गमन पथ वास्तविक मालूम पड़ेंगे। इस प्रकार यह स्पष्ट हो जाता है कि याकावी का सिद्धान्त एक प्रकार से सांख्यिकीय सिद्धान्त¹ है क्योंकि इसमें अनेक गमन पथ समुदाय की योगपदिक कल्पना की जाती है। इससे हम इस बात का कुछ आभास मिलता है कि इस सिद्धान्त में तरंग-यात्रिकी की प्राथमिकतामूलक² तथा सांख्यिकीय व्याख्याएँ बीजरूप में विद्यमान हैं। आगे चलकर हम देखेंगे कि बात है भी बहुत कुछ ऐसी ही।

ऊपर की पक्तियाँ में हमने गत बल-क्षेत्र में किसी एक द्रव्य विन्दु की गति के सम्बन्ध में याकावी के सिद्धान्त की त्परेखा प्रस्तुत की है। यदि यह अभीष्ट हो कि इसी विचारधारा को बढ़ाकर परस्पर प्रभावक द्रव्य विन्दुओं के निकाय पर भी लागू किया जाय तो एक ऐसी विशेष परिकल्पना को इस सिद्धान्त में निविष्ट करना पड़ेगा जो आगे चलकर निकाय की तरंग-यात्रिकी में भी उपयोगी प्रमाणित होगी। यदि निकाय में द्रव्य विन्दुओं की संख्या n हो तो हमें एक ऐसे अमूर्त³ आकाश की कल्पना करनी पड़ेगी जो निकाय के n विन्दुओं के $3n$ निर्देशांकों के द्वारा निर्मित माना जाना है और जो वियासाकाश⁴ कहलाता है और तब यदि ऊर्जा के हमिल्टनीय व्यंजक से प्रारम्भ करने उस निकाय के लिए याकावी का समीकरण बनाया जाय

तो हमें प्रथम श्रेणी और द्वितीय घात के जाशिव जवन-गना का ऐसा समीकरण प्राप्त होगा जिसमें उम निकाय के समस्त विन्दुओं के $3n$ निर्देशांक समाविष्ट होंगे। फलन इस समीकरण के द्वारा उपयुक्त वियासावाश में ही पृष्ठ-कुल भी निर्दिष्ट करने पड़ेगे—साधारण त्रिविमितीय आकाश में नहीं। अतः निकाय की उत्तरात्तरवर्ती अवस्थाओं का अनुक्रम^१ इस वियासावाश में एक वक्र द्वारा निरूपित हो जायगा और यह वक्र उम निकाय के निरूपक बिन्दु^२ का गमन-पथ होगा। निकाय के साकेतिक^३ गमन-पथ $6n$ प्राचला पर अवलम्बित होने ह जो n बिन्दुओं में स प्रत्येक से सम्बन्धित 6 प्रारम्भिक प्रतिबन्धा से प्राप्त हात ह। याकावी का सिद्धांत हमें सभाय गमन पथा की इस $6n$ -गुणी जनन्ती को कुल में वर्गित करने की क्षमता प्रदान कर देता ह। इनमें से प्रत्येक कुल $3n$ प्राचला पर अवलम्बित होगा और ऐम बना स मरदित होगा जो याकावी के समीकरण के अनुकूल पष्ठा^४ के कुल से लम्ब षाणीय हागे। किंतु इस बार तरंग के प्रतिरूप का प्रचरण $3n$ -विमितीय वियासा वाश में होगा। इससे यह प्रकट हो जाता है कि निकाय के गतिविज्ञान की समस्याओं के अध्ययन में तरंग-यांत्रिकी का भी याकावी के सिद्धांत का सहारा लेकर इसी माग का अनुसरण करना पड़ेगा और तरंग प्रचरण का विवचन वियासा वाश में करना पड़ेगा। इससे तरंग-यांत्रिकी की तरंगा को न केवल उपयुक्त प्रायिकतामय तथा सांख्यिकीय अभिव्यक्ति प्राप्त हो जायगी किंतु उनका स्वरूप चिरप्रतिष्ठित भौतिकी में चित्रित तरंगा के रूप से सबथा भिन्न और असार तथा साकेतिक भी हो जायगा।

५ न्यूनतम क्रिया का नियम^५

किसी विभव-जात बल-क्षेत्र में अवस्थित द्रव्य बिन्दु के गतिकीय समीकरणा का उस सिद्धांत से भी प्राप्त करना संभव ह जो अपने व्यापक रूप में हैमिल्टन का सिद्धांत या स्थिर क्रिया का सिद्धांत कहलाता ह। इस सिद्धांत के अनुसार द्रव्य बिन्दु की गतिज और स्थितिज ऊर्जाओं के अंतर का t_1 और t_2 सीमाओं के बीच में प्राप्त कारानुबल वास्तविक गमन पथ के लिए उस अत्यल्पत भिन्न अथ पथ की अपेक्षा लघुतर (या महतर) होता ह जिसके द्वारा उस द्रव्य बिन्दु के लिए उसी प्रारम्भिक स्थान से उसी अंतिम स्थान तक पहुँच सकना सम्भव समझा जा सकता ह।

1 Sequence 2 Representative point 3 Symbolic 4 Integral surfaces
5 Principle of Least Action 6 Stationary action ~ Time integral

जब बल-क्षेत्र स्थायी^१ होता है तब इस स्थिर त्रिया के सिद्धांत का रूप विशेषतः सरल हो जाता है। वह तब मापरेट्यूइस^२ का 'यून-तम त्रिया' का नियम बन जाता है जिसके अनुसार स्थायी बल-क्षेत्र में बिन्दु ६ से बिन्दु ७ तक जाने के लिए द्रव्य बिन्दु का वास्तविक पथ वह वक्र होता है जिस पर सवेग का 'परिचलन'^३ अथवा रेखा-अनुकल^४ उही ६ और ७ बिन्दुओं का जाहनेवाले किसी 'अय अनन्त' निकटवर्ती वक्र की अपेक्षा 'यूनतर' होता है। मापरेट्यूइस का सिद्धांत हमिरटन के सिद्धान्त से तो व्युत्पन्न हो ही सकता है किन्तु उसका सम्बन्ध याकोबी के सिद्धान्त से भी स्थापित किया जा सकता है। हम देख चुके हैं कि उस सिद्धान्त के अनुसार स्थायी बल-क्षेत्र में गमन-पथ किसी विशेष पष्ठ-कुल से लम्बकोणीय वक्र समये जा सकते हैं। इससे सरल वितक द्वारा यह परिणाम निकाला जा सकता है कि ये गमन-पथ किसी विशेष अनुकल को 'यूनतम' बनाने के प्रतिबन्ध द्वारा निर्णीत हो सकते हैं और यह अनुकल मापरेट्यूइस की त्रिया अर्थात् सवेग का रेखा-अनुकल प्रमाणित होता है। 'यूनतम त्रिया के नियम' को इस प्रकार सिद्ध करना बड़ा रोचक है क्योंकि इसके द्वारा इस नियम का और फरमा^५ के 'यूनतम समय के नियम' का सम्बन्ध प्रकट हो जाता है। वस्तुतः हम देख चुके हैं कि याकोबी के सिद्धांत द्वारा ये गमन पथ ठीक उसी प्रकार के समझे जा सकते हैं जिस प्रकार ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान में तरंग प्रचरण के प्रसंग में किरणें समझी जाती हैं। इस दृष्टि से विचार करने पर 'यूनतम त्रिया के नियम' को सिद्ध करनेवाली युक्ति ठीक वही जान पड़ती है जिसके द्वारा ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान में 'यूनतम समय के नियम' अर्थात् फरमा के नियम को प्रमाणित किया जाता है। फरमा के नियम का वक्तव्य यह है—स्थायी अवस्थावाले किसी वक्र का माध्यम^६ में दो अचल बिन्दु ७ तथा ८ में स गुजरनेवाली किरण उस वक्र की सपाती^७ होनी है जिस पर क स ७ तक जाने में प्रकाश को 'यूनतम समय' लगता है अर्थात् जो प्रकाश प्रचरण के वक्र के व्युत्क्रम^८ के रेखा-अनुकल को 'यूनतम' बना देता है। इस प्रकार मापरेट्यूइस के नियम और फरमा के नियम का सम्बन्ध प्रत्यक्ष हो जाता है। फिर भी इन दोनों नियमों में एक महत्वपूर्ण अन्तर बानी रह जाता है। 'यूनतम त्रिया नियम' के स्थिर अनुकल में सवेग इस प्रकार निविष्ट होता है कि 'उम अनुकल को भौतिक विमिति^९' ठीक वही

१ Permanent २ Maupertuis ३ Circulation of momentum ४ Line integral
५ Fermat ६ Principal of least time ७ Refracting medium ८ Coincident
९ Reciprocal १० Dimensions

हानी है जो प्रिया ही होती है (ज्यानि ऊँचा समय जयवा मवग दध्य) । विपरीत इसके परमा के नियम के अनुसार में प्रचरण के वेग का व्युत्क्रम निरूपित होता है । यही कारण था कि दीर्घ काल तक इन दोनों नियमों के मान्यता का वैधानिकता जाभागी मादृश्य के अतिरिक्त और किसी प्रकार का ऐसा सादृश्य सम्मानना सम्भव नहीं था कि जिसका कोई गहरा भौतिक आधार हो । भौतिक दृष्टिकोण से तो इन दोनों नियमों में स्पष्ट विपरीतता प्रकट होती थी क्योंकि मध्यम ताप का अनुपाती होता है और इस कारण मापरट्यूब में अनुकूल में वेग जग-स्थान^१ में निरूपित होता है किन्तु परमा के अनुसार में वह हर-स्थान में निरूपित होता है । इस बात ने उस समय का महत्वपूर्ण कार्य किया था जब फ्रैनेल^२ की प्रतिभा के कारण प्रकाश के तरंग सिद्धान्त ने अपने प्रतिपक्षी कणिका सिद्धान्त पर विजय प्राप्त की थी । मापरट्यूब तथा परमा के अनुसार में वेग की इन्हीं विभिन्न भूमिकाओं पर भरोसा करके यह परिणाम निकालना सम्भव सम्माना गया था कि 'गूयावाग की अपेक्षा जल में प्रकाश वेग को कम प्रमाणित करनेवाले फूको^३ और फीजो^४ के विख्यात प्रयोगों में तरंग सिद्धान्त का समर्थन करनेवाला अवाटक और निर्णायक तर्क निहित है । किन्तु न केवल यात्रिकी और ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के इन दोनों नियमों की विपरीतता प्रदर्शित करने के लिए, बल्कि फूको और फीजो के प्रयोग का ठीक अर्थ समझने के लिए भी यह मान लिया गया था कि मापरट्यूब के अनुसार में प्रयुक्त द्रव्य बिन्दु का वेग और परमा के अनुसार में भिन्न प्रकार से प्रयुक्त तरंग-वेग का एक ही प्रकार का सम्बन्ध तब-भगत् है । इन दोनों महान् नियमों के गहन सम्बन्ध और उस सम्बन्ध के भौतिक अर्थ का सत्य रूप केवल तब ही प्रकट हुआ था जब तरंग-यात्रिकी ने यह सिद्ध कर दिया कि किसी भी द्रव्य बिन्दु की गति के साथ-साथ एक तरंग प्रचरण भी अवश्य विद्यमान रहता है जिसका प्रचरण वेग उस द्रव्य बिन्दु के वेग का उल्टा-अनुपाती होता है । उसने यह भी प्रमाणित कर दिया कि फीजो का प्रयोग इतना उत्कृष्ट निर्णायक नहीं था जितना कि पहले समझा गया था । यह प्रयोग इस बात को तो अच्छी तरह प्रमाणित कर देता है कि प्रकाश के प्रचरण को तरंगों के प्रचरण के द्वारा निरूपित करना चाहिए और बतनाक^५ की परिभाषा भी प्रचरण-वेग के द्वारा ही देनी चाहिए । किन्तु यदि प्रकाश की कणिकाओं का और तरंगों का समुचित

अनुपम स्थापित हो सके तो इस प्रयोग से प्रकाश के कणिकामय रूप के अस्तित्व प्रमाणित निराकरण नहीं होता। किन्तु ये प्रश्न तो ऐसे हैं जिनका विवेचन हम बलकर करेंगे।

हमने मापरटधइस और फरमा के नियमों का सादृश्य मुख्यतः स्थायी बल-क्षेत्र में द्रव्य-विन्दु की गति के साथ स्थायी अवस्थावाले वतक माध्यम में तरंग प्रचरण की तुलना के द्वारा स्थापित किया है। यदि हम समय के साथ परिवर्तित होनेवाले बल-क्षेत्र में द्रव्य-विन्दु की गति की तुलना उत्तरोत्तर परिवर्ती अवस्थावाले तत्त्व माध्यम में तरंग के प्रचरण से करें तो हम न्यूनतम क्रिया नियम के हैमिल्टन प्रत्यक्ष व्यापक रूप का और अस्थायी वतक माध्यमों के लिए उपयुक्त व्यापकीकृत फलन के नियम का सादृश्य स्थापित करने में भी सफल हो सकेंगे। इस व्यापकीकरण के सम्बन्ध में हम और अधिक नहीं कहेंगे। इतना ही कह देना पर्याप्त होगा। यानिकी और ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान का भौतिक सादृश्य स्थायी अवस्थावाले अत्यन्त महत्त्वपूर्ण, किन्तु विनिश्चित दशा की सीमा से बाहर भी तथ्यपूर्ण है।

द्रव्य-विन्दुओं के निकायों के लिए भी स्थिर क्रिया का सिद्धान्त स्वभावतः ही उपयोगी है। किन्तु यहाँ इस सिद्धान्त में शाब्दिक यथार्थता लाने के लिए उस निकाय से सगत पूर्व निदिष्ट विन्यासाकाश पर विचार करना लाभदायक होगा। उदाहरण के लिए हम अपना विवेचन केवल उसी दशा तक सीमित रखेंगे जिसमें उस निकाय की स्थितिज ऊर्जा स्पष्टतः समय पर अवलम्बित नहीं होती। अर्थात् वह ऐसी अनन्यसक्त निकाय हो जिस पर कोई बाह्य प्रभाव न पड़ रहा हो क्योंकि तब स्थितिज ऊर्जा केवल पारस्परिक प्रभावों पर ही अवलम्बित रहेगी और समय पर स्पष्टतः अवलम्बित नहीं होगी। इस दशा में भी न्यूनतम क्रिया का नियम मापरटधइस के रूप में उपलब्ध है। उसका प्रतिपादन हम 3A-विमितीय विन्यासाकाश की सहायता से करेंगे और उस आकाश में ऐसी दिष्ट राशि की कल्पना करेंगे जिसके 3A सघटक उस निकाय के 3A द्रव्य-विन्दुओं के सघटकों होंगे। न्यूनतम क्रिया का नियम हमें बताता है कि निकाय का विन्दु जब कदा अचल विन्दुओं (क और ख) में से है कि उपर्युक्त दिष्ट राशि का उस पथ क और ख विन्दुओं का जाड़नेवाले और किसी भी यत्र की अपेक्षा न्यूनतर होता है प्रारम्भ करें

किया

नियम ने इसका सादर्य इस बात की सम्भावना के द्वारा प्रकट होता है कि त्रियामा-
वाग में निरूपण बिन्दु के समन पक्ष उन्नी त्रियामावाग में किसी विशेष तरा
प्रचरण की किरणा के रूप में समने जा सक्त है । यहा भी उही बात एक बार फिर
प्रकट हाती है कि निराया के लिए चिरप्रतिष्ठित यात्रिकी में तरंग-यात्रिकी में
सममण अनिवार्यतः जम्न त्रियामावाग में ही हा सकेगा ।

दूसरा परिच्छेद

चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान^१

१ यानिकी के विस्तारण^२

पिछले परिच्छेद के थोड़े-से पन्ना में हमारा इरादा चिरप्रतिष्ठित यानिकी का पूरा विवरण देने का नहीं था। इस परिच्छेद में चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान का सम्पूर्ण दिग्दर्शन करना तो और भी कम सम्भव होगा। अधिक से अधिक हम उसकी प्रमुखा शाखाओं के लक्षण बताने का और उनमें से प्रत्येक के बारे में कुछ थोड़ी-सी बातें कह देने का प्रयत्न कर सकते हैं।

चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान की एक प्रमुख शाखा तो यानिकी के विविध प्रत्यक्ष विस्तारणों के द्वारा निर्मित हुई है यथा, द्रव-गतिकी^३ तरल द्रव्या^४ का अध्ययन, ध्वनि विज्ञान, प्रत्यास्थता^५ का सिद्धान्त। भौतिकज्ञों का ध्यान इन विज्ञानों की ओर बहुत पहले हो गया था क्योंकि जिन घटनाओं का इनमें अध्ययन किया जाता है वे नित्य के जीवन में हमारा ध्यान बरबस आकृष्ट करती रहती हैं। सैद्धान्तिक दृष्टिकोण से वे यानिकी के ही अव्यवहित विस्तारण दिखाई देते हैं। उनके मूल सिद्धांत और तब प्रणाली यानिकी से ही प्राप्त हुए हैं। और उनमें कुछ अनुभव द्वारा सुझायी हुई परिवर्तनपूर्ण जोड़ दी गयी हैं। इनमें यह धारणा स्पष्ट निश्चित नहीं है कि द्रव ठोस या गैसीय वस्तुओं का सघन पारमाणविक होता है। विपरीत उसके उनमें द्रव्य सतत^६ माना जाता है और उसी सातत्य^७ में आपतन के अल्पांश^८ को पथक मानकर उन पर प्रतिवैशी जलपाशा की पारस्परिक क्रिया का परिगणन यानिकी के नियमों के द्वारा किया जाता है। किंतु द्रव्य के पारमाणविक

1 Classical Physics 2 Extensions of Mechanics 3 Hydrodynamics
4 Fluids 5 Acoustics 6 Elasticity 7 Immediate 8 Continuous 9 Conti-
num 10 Elements

सघटन की परिकल्पना के साथ इन प्रक्रियाओं का समाधान करने में कोई भी बाधा नहीं है, यदि हम यह समझ लें कि आयतन के जिन अपादा पर हमारा ध्यान केंद्रित होता है वे अत्यन्त छोटे होने पर भी इतने बड़े अवश्य हैं कि उनमें अणुओं की बहुत बड़ी मख्या विद्यमान रहती है और उनमें सतत द्रव्य के गुण विद्यमान समझे जा सकते हैं।

यद्यपि ये विज्ञान-यान्त्रिकी के विस्तार—उन सिद्धान्तों पर आधारित हैं जिनका यान्त्रिकी के नियमों में से अत्यन्त सरलतापूर्वक उद्गम हुआ है तथापि वास्तव में ये विज्ञान कठिन हैं और उनके लिए प्रयोगकर्त्ताओं और मद्भागितों में बड़ी गाम्यता और प्रचुर अध्यवसाय की आवश्यकता होती है। इन विषयों के भौतिक याम जटिल होने हैं और बहुधा उनका अध्ययन कठिन होता है। उनके परिकलन में उच्चतर गणित की सहायता आवश्यक होती है। इसलिए यद्यपि ये विज्ञान बहुत पुराने हैं तथापि इनमें अभी बहुत अधिक उन्नति होना बाकी है। इजीनियरी के काम में इनके उपयोग के कारण ये विज्ञान अत्यन्त आवश्यक हैं। किन्तु उन व्यावहारिक व्यक्तियों की सुविधा के लिए जिन्हें व्यापक सिद्धान्तों की अपेक्षा तात्कालिक परिणामों से अधिक प्रयोजन रहता है इन विज्ञानों का सन्निकटित रूप लेना पड़ा है। यथा द्रव इजीनियरी^१ या द्रवों के प्रतिरोध^२ में।

इन विज्ञानों पर और अधिक विचार हम नहीं करेंगे। आधुनिक भौतिक विज्ञान के रूपांतरों ने इनमें बहुत ही खाड़ा परिवर्तन किया है और अभी तक इनमें क्वांटमा का कार्य उल्लेखनीय नहीं रहा है। जब य हमारा अध्ययन के मुख्य भाग की सीमा से बाहर है।

२ प्रकाश-विज्ञान^३

यद्यपि द्रव-गत विज्ञान^४ में और प्रत्यास्थता के सिद्धान्त में उन लोगों की कोई प्रत्यक्ष रुचि नहीं होती जो क्वांटमा का अध्ययन करना चाहते हैं तथापि प्रकाश विज्ञान के सम्बन्ध में बात विलुप्त उल्टी है। इस विज्ञान की प्रगति में और भौतिक विज्ञान की आधुनिक उन्नति में गहरा सम्बन्ध रहा है। द्रव और ठोस वस्तुओं की गति के समान ही प्रकाश-सम्बन्धी घटनाओं ने सदैव मनुष्यों का ध्यान बरबस आकृष्ट किया है। किन्तु १७वीं शताब्दी में ही जाकर प्रकाश विज्ञान ने यथार्थ विज्ञान का

रूप लिया था। उनी समय देनार्ने^१ के नियम प्रतिपादित हुए थे जिनके द्वारा परावर्तन और वतन^२ की घटनाएँ यथायथापूर्वक नियन्त्रित होनी हैं और उनी समय उपयुक्त क्रमा का नियम भी प्रतिपादित हुआ था जिसमें समस्त ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान निहित है। प्रकाश विज्ञान के इतिहास के उस युग में किरणा की धारणा ने ही मौलिक नाम दिया था। उस समय 'न्यूटन' में अथवा 'समागी'^३ माध्यमा में किरणा के सरल रेखा-गमन का दृष्टान्त पर अथवा वक्त माध्यम में प्रवेश करने पर किरणा के मुड़ने का और असमागी वतन^४ माध्यम में किरणा की उत्तरोत्तर वटती हुई वक्रता का अध्ययन किया जाता था। इनी समय हाइगंस^५ ने इन्ही घटनाओं की व्याख्या तरंगा और तरंगाग्रा की धारणाओं के द्वारा करने की दूसरी विधि का भी विकास किया था। हमारे अतिरिक्त उन्होंने यह भी प्रमाणित कर दिया था कि इस विधि के उपयोग से नवाविष्ट द्वि-वतन^६ की घटना की व्याख्या भी हो सकती है। कुछ ज्यामितीय दृष्टिकोण से किरणा की धारणा का उपयोग करनेवाली विधि में तथा तरंगाग्रा की धारणा का उपयोग करनेवाली विधि में एक प्रकार की समानता है। ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के प्रमेय इस समानता को प्रकट करते हैं और बिना कठिनाई के हमें एक दृष्टिकोण से दूसरे दृष्टिकोण को प्राप्त करने में सहायता करते हैं। जैसा हम पिछले परिच्छेद में बता चुके हैं ये किरणें तरंगाग्र-कुल को अभिलम्बित काटनेवाले वक्र हैं और परमा का नियम इस बात का सीधा परिणाम है। किन्तु यदि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान की समस्याओं का विवेचन करने के विविध तरीकों में गणितीय तुल्यता विद्यमान हो तो प्रकाश के सम्बन्ध में दो सवथा विभिन्न धारणाएँ उत्पन्न होती हैं जो इस बात पर अवलम्बित होती हैं कि हम किरणा के काय का मौलिक समझते हैं अथवा तरंगाग्रा के काय को। यदि हम किरणा की धारणा का अनिवार्य समझें तब तो प्रकाश कणिका रूप में प्रकट होता है। और हमें यह मानना पड़ता है कि प्रकाश अत्यन्त छोटी और तीव्रगामी कणिकाओं से बना हुआ होता है और किरणें उन कणिकाओं के गमन पथ हैं। तब किरणा के सरल रेखात्मक रूप (सरल रेखात्मक गमन) और दृष्टान्त पर प्रकाश के परावर्तन की अत्यन्त स्वाभाविक और सहज व्याख्या हो जाती है और वतन भी समझ में आ जाता है। इस दृष्टिकोण में किरणा का तो कुछ भौतिक अर्थ है क्योंकि ये प्रकाश-कणिकाओं के गमन-पथ हैं किन्तु तरंगाग्र केवल ज्यामितीय कल्पना मात्र है जिसके द्वारा किरण

1 Descartes 2 Reflection 3 Refraction 4 Homogeneous 5 Huyghens
6 Wave fronts 7 Double refraction

समूह का किसी एक कुल के रूप में सघटित समझा जा सकता है, ठीक उसी प्रकार जिस प्रकार यानोबी-समीकरण के अनुकूल-पंथा की धारणा के द्वारा गमन पथा के समुदाय को एक विशेष कुल के रूप में सघटित समझा जाता है। किन्तु इसका विपरीत हम यह भी मान सकते हैं कि यथाथ वास्तविकता तरंग पंथा में है। तब हमें प्रकाश के स्वरूप की तरंगमय धारणा प्राप्त होगी और हमें यह समझना पड़ेगा कि प्रकाश आकाश में प्रचरण करनेवाली वास्तविक तरंगों से निर्मित है और किरण केवल नम्रगत तरंगों को अभिलम्बित काटनेवाले वास्तविकताहीन कल्पित वक्र माने जाते हैं। हाइगन के प्रथम विस्फेपणा से यह अच्छी तरह प्रमाणित हो गया था कि प्रकाश के इस तरंग सिद्धान्त के द्वारा भी परावर्तन और वक्रता की घटनाओं की व्याख्या हो जाती है। किन्तु पहले-पहल यह समय में आना आसान नहीं है कि इसका द्वारा समाग्री भाग्यमा में प्रकाश के सरल रेखात्मक गमन की व्याख्या कम हो सकती है। यह भौतिक घटना ऐसी है जिसकी व्याख्या कणिका सिद्धान्त में अत्यन्त ही प्रत्यक्ष दिखाई देती है क्योंकि वहाँ यह अवस्थितित्व के नियम का ही परिणाम है।

१७वीं तथा १८वीं शताब्दी के विद्वानों ने इस दाना ही धारणाओं का—कणिकामय धारणा अथवा उत्पन्न सिद्धान्त का तथा तरंग-धारणा का—अध्ययन किया था। 'यटन', जो महान अधिकारी पुरुष थे तथा सगोल-यानिकी के प्रति भावान् स्रष्टा थे, तरंग धारणा की कुछ कठिनाइयाँ से, विशेषकर सरल रेखागमन की व्याख्या सम्बन्धी कठिनाई से बहुत प्रभावित हो गये थे और उन्होंने अपना मत स्पष्टतः कणिका सिद्धान्त के पक्ष में दे दिया था। 'यटन' के बाद जठारहना शताब्दी के प्रायः सभी वनानिक साधारणतः प्रकाश के इस स्वरूप के पक्ष में थे और जिस तरंग धारणा का सनहवीं शताब्दी के अन्त में हाइगन ने इतना तजस्विता से प्रतिपादन किया था उसके पक्ष में कुछ दोषों से इनके गिने समयका (यथा जायत) को छोड़कर कोई भी नहीं था। उस समय तो ऐसा ही मालूम होता था कि प्रकाश के अमरत (कणिकामय) सघटन के पक्षपातियों की विजय हो गयी है।

किन्तु १९वीं शताब्दी के प्रारम्भ में स्थिति बिल्कुल पलट गयी। 'यतिकरण' और 'विवर्तन' की घटनाओं का आविष्कार ही इस परिवर्तन का कारण था। तब से कुछ घटनाओं के विशेष अर्थों का ता 'यटन' के समय में ही आविष्कार हो चुका

या—पहले हुक्^१ और ग्रिमाल्डी^२ के द्वारा और बाद में स्वयं यूनटन के द्वारा। वह सुंदर घटना जो आज तक भी 'यूनटन के वलय'^३ के नाम से विख्यात है व्यतिकरण की ही घटना है। अपनी स्वाभाविक सूक्ष्म दृष्टि से न्यूटन ने अत्यन्त स्पष्ट रूप से समझ लिया था कि इन घटनाओं की व्याख्या के लिए उनके द्वारा समर्थित कणिका सिद्धान्त में भी थोड़े बहुत आवतत्तर^४ की निविष्ट करने की आवश्यकता पड़ेगी। अतः उन्होंने यह परिवर्तन बनायी कि प्रकाश-कणिकाओं का सुगम पारगमन और सुगम परावर्तन के दोरे^५ एवान्तरित आते हैं। यह सिद्धांत पहले-पहल तो बग जटिल तथा विचित्र मालूम देता है किन्तु वास्तव में यह प्रकाश के कणिका तथा तरंग रूपों में सामञ्जस्य स्थापित करने का सबसे पहला प्रयत्न था और दो शताब्दी पहले ही वर्तमान सिद्धान्तों का उसने सूत्रपात कर दिया था। १८वीं शताब्दी में प्रकाश के कणिका-स्वरूप की धारणा का प्रभाव इतना प्रबल था कि उस समय व्यतिकरण की घटनाओं पर यथोचित ध्यान नहीं दिया गया। उस शताब्दी के अंत में और पञ्चवीं शताब्दी के प्रारम्भ में ही जाकर ज्योञ्ज भौतिकज्ञ टामस यंग ने पुनः इन घटनाओं का गंभीर अध्ययन प्रारम्भ किया था। किन्तु इनकी पूर्ण और परिष्कृत व्याख्या देना फ्रामीसी विद्वान् आगस्टिन फ्रैनेल^६ की प्रतिभा का ही काम था। हार्गन्स की तरंग धारणा का पुनर्विवेचन करके विवर्तन और व्यतिकरण सम्बन्धी उस समय तक ज्ञात समस्त बातों की पूरी व्याख्या फ्रैनेल ने तरंग सिद्धान्त के द्वारा प्रस्तुत कर दी। और हमें भी अधिक महत्वपूर्ण बात यह है कि वे यह प्रमाणित करने में भी सफल हो गये कि ममागी माध्यमा में सरल रेखा-गमन और प्रकाश के तरंगमय स्वरूप में विपरीतता नहीं है। तरंग सिद्धांत के विरोधियों ने इस बात की कड़ी आलाचना की थी क्योंकि इस व्याख्या के द्वारा कुछ विरुद्धाभासी परिणामों की सम्भावना प्रकट होती है। किन्तु उन्होंने प्रयोग के द्वारा प्रमाणित कर दिया कि ये परिणाम वास्तव में सत्य हैं। इसके बाद से ही उनके विचारों की विजय निश्चित हो गयी और विया तथा लाप्लास^७ जैसे वैज्ञानिकों का समर्थन बता रहने पर भी कणिका सिद्धांत का पूणतः अपक्ष होने लगा और प्रतिदिन उसके समर्थकों की संख्या घटने लगी।

किन्तु फ्रैनेल के काय का यही अन्त नहीं हो गया। ध्रुवण^८ की घटना की

1 Hooke 2 Grimaldi 3 Newton's rings 4 Periodicity 5 Fit
6 Augustin Fresnel 1788-1827 7 Biot 8 Laplace 9 Polarisation

व्याख्या करने के लिए उन्होंने प्रकाश सम्पत्ता की अनुप्रस्थता¹ की परिरक्ष्यता उपस्थित की जिसके द्वारा यह समय में आ जाता है कि ध्रुवित प्रकाश² के गुण प्रसरण ती दिशा से समवाणिक दिशाओं में सम दिक्³ क्या नहीं होत। इन अनुप्रस्थ सम्पत्ता के गुणों के अध्ययन स फ़नेल ने बतक वस्तु के पष्ठ में होनेवाले परावर्तन की तीव्रता के मिडान्त का तथा विपरीत दिक् माध्यमा में प्रकाश के उभ प्रचरण के मिडान्त का विकास किया जो द्विवर्तन का कारण है और इसी मिडान्त से द्विवर्तन के नियम भी प्रकट हुए। इस पूरे विवेचन का सचमुच ही भौतिक भौतिक विज्ञान में उत्कृष्ट स्थान प्राप्त है और आजकल भी भौतिक प्रकाश की समस्या पुस्तक में बिना किसी महत्वपूर्ण परिवर्तन के यह ज्या-का-त्या पाया जाता है। इस घात मानसिक परिश्रम से क्षीण हाज़र जागमिन्ट फ़नेल बीमार पड़ गये और १८२७ में जब ३९ वर्ष की आयु में ही उनका देहांत हो गया। किन्तु उन्होंने जो कार्य पूरा कर दिया वह प्रशंसनीय है और भौतिक विज्ञान के विचार के इतिहास के सर्वोत्तम अर्थात् उसकी गणना हाथी रहनी।

फ्रनेल की मृत्यु के बाद प्रकाश का तरंगमय स्वरूप प्रमत्त अधिवाधिव धर्मानिका द्वारा स्वीकृत होता गया और पूरा तथा फीजा के प्रमाण ने ता जिसका उत्तर हम पहले ही कर चुके ह इस परिग्रहना के पक्ष में एक अकाट्य प्रमाण प्रस्तुत कर दिया । हम जागे चलकर देखेंगे कि इसके बहुत दीर्घ काल के बाद वर्तमान गतावनी के प्रारम्भ में भौतिकज्ञा का ध्यान पुन प्रकाश के कणिकामय स्वरूप की ओर आकृष्ट तो हुआ, किन्तु इसमें फ्रनेल की तरंग मूलक व्याख्या का त्याग देने का विचार भी करने का साहस किसी का नहीं हुआ । फलत यह आश्चर्य हुआ गया कि इन कणिकामय और तरंगमय स्वरूपों का त्रिमीन किमी प्रकार का मेलपण करने का अथवा उन्हें समान स्थान देने का प्रयत्न किया जाय । इस बात से यह स्पष्ट हो जाता है कि यदि फ्रनेल उस समय की ज्ञात अथवा स्वयं अपने द्वारा आविष्कृत प्रमाणों के घटनाओं की व्याख्या तरंगों के द्वारा करने में सही थे तो अपरपक्षी भावित । भी प्रकाश के अमलत स्वरूप के अस्तित्व का अनुमान करने में नूतन नहीं हो पाया । प्रकाश विरणा के और यांत्रिकीय द्रव्य त्रिधुआ के गमन तथा के गमन का अनुमान कराने में यूनन अथवा दिया के ज्ञात । भी ध्यात । भी ध्यात । भी ध्यात । भी ध्यात । यह बात केवल जावस्मिक नहीं हो गवता कि ज्यामितीय । भी ध्यात । भी ध्यात । भी ध्यात । भी ध्यात ।

1 Transversality ■ Polarised light
tropic 6 Double refraction ■ I see a salt 8 5/11

प्र प्राप्त निये जा-सकत ह और दूरा वया का हम उग प्रचरण की जानपनिव
 करण कह सकन ह । दूरा परगा के नियम मायूम व प्रमय हादारा का चना
 नीर ज्यामिनीय प्रकाश विज्ञान के अय गमस्त नियमा का नियमन हा माना १ ।
 दूरा के दृष्टिवाण म जब कभी यथाथ तरंग-महावाण की जगह ज्यामिनाय
 दूरा विज्ञान का गमोत्तरण गतिवदत स्थापित किया जा सकता हा तभी ज्यामिनाय
 दूरा विज्ञान मय या वध गमना जा सकता है । जसा हम मय चर ह मय गि
 जाकमय गन यह ह कि माध्यम में एव चिद्रु म दूरे बिन्दु तय जान म वनना
 नयिक शीघ्रता से न बदले । किन्तु हमक अतिरिक्त यह भा जानाया ह कि प्रकाश
 व माण में, उमक स्मय प्रचरण में विघ्न उपस्थित करनयाग बाद एसा अनशय
 विद्यमान न हा जिसके व्यतिवरण और विचनन की घटना प्रसट हा जाय । हम
 प्रकार तरंग-महातिर की दृष्टि म ज्यामिनीय प्रकाश विज्ञान एसा गतिवदत
 प्रनीत हाता ह जा बहुधा सत्य ता हाता है, किन्तु जिसरी सत्यता का क्षेत्र सीमित
 रहता है ।

अब हम पुन तरंग सिद्धान्त के भातिक अथ पर विचार करग । यह स्पष्ट ह
 कि प्रकाश-तरंगा का प्रचरण द्रव्य के द्वाग नही हाता क्याकि 'गूयाका' मे भी प्रकाश
 बिना कठिनाई के गमन करता ह । तब इन तरंगा का बाहर क्या ह और वह माध्यम
 कौन-सा ह जिसके कम्पन प्रकाश-कम्पन समय जा सनन ह ? तरंग सिद्धान्त के समरका
 मे यही प्रदन पूछा गया था । इसका उत्तर देने के लिए उन्होंने एन एम अनिसूक्ष्म
 माध्यम (प्राकाशिक ईथर) की कल्पना की थी जा पूरे ब्रह्माण्ड म विस्तृत ह जा समस्त
 गूय स्थाना में भी भरा हुआ है और जा भौतिक वस्तुआ के अभ्यतर म भी व्याप्त
 ह । इस रहस्यमय माध्यम में गुण एमे हाने चाहिए कि 'गूयाका' म प्रकाश प्रचरण
 की घटना की व्याख्या हा सके । और इस ईथर तथा द्रव्य की पारस्परिक क्रिया एसी
 हानी चाहिए कि वतक माध्यमा में प्रकाश प्रचरण की प्रक्रिया भी समय मे जा सके ।
 प्रकृति के अनुयायी इस ईथर-मस्या के हल करने मे जुट गय । उनका प्रयत्न यह
 था कि ईथर के यात्रिण गुण बिल्कुल ठीक ठीक निर्णीत हा जायें और उमकी सरचना
 का रूप भी स्पष्ट हा जाय । इस अनुसंधान के परिणाम वाम्भव मे विचित्र निकल ।
 यदि ईथर का प्रत्यास्थ¹ माध्यम समझा जाय ता यह आवश्यक है कि वह इत्यान
 मे भी अदिव दत्त हा क्याकि उममे केवल अनुप्रस्थ कम्पना का प्रचरण ही हो सकता

है, किन्तु फिर भी इस दृढ़तम माध्यम के द्वारा उनमें चलनेवाली वस्तुओं पर काइ घपण-बल नहीं लगता और ग्रहा की गति में भी यह काइ रूखावट नहीं पड़ा करता। परस्पर विरोद्धाभासी लक्षणा से युक्त इस माध्यम का काइ पूणत पूर्वापर विरोधान^१ मिट्ठात स्थापित नहीं किया जा सता और अनेक भौतिकों के मन में इस कल्पित पदार्थ के वास्तविक अस्तित्व में सन्देह उत्पन्न हो गया। आगे चलकर हम देखेंगे कि यह प्रश्न पहले विद्युत्-चुम्बकीय सिद्धांत में और फिर आपभिकता के सिद्धांत में कैसे प्रस्फुटित हुआ है।

३ विद्युत् और विद्युत्-चुम्बकीय सिद्धान्त^१

यात्रिकी और उसके विस्तारण (गद्य विज्ञान तथा प्रकाश विज्ञान) तो ऐसे विज्ञान हैं जिनका जन्म बहुत प्राचीन काल में हुआ था क्योंकि उनमें ऐसी घटनाओं का अध्ययन किया जाता है जिनके अस्तित्व का ज्ञान मनुष्य को नदा से ही है, किन्तु इसके विपरीत विद्युत् विज्ञान का जन्म आधुनिक है। यह सच है कि कुछ थोड़ी-सी बातें जैसे घपण के द्वारा वस्तुओं का आवेपण^२ अथवा प्राकृतिक चुम्बका के गुण बहुत प्राचीन काल से ज्ञात थे और यह हो नहीं सकता था कि तत्ति ज्ञानी महान और भयकर घटनाओं और मनुष्यका ध्यान न जाता। किन्तु १८वीं शताब्दी के अन्त से पहले इन विविध घटनाओं की इतनी समुचित आलोचना हो चुकी थी कि इसमें बहुत सन्देह है कि किसी के मन में यह बात पैदा हो सकती कि ये भी एक स्वतन्त्र विज्ञान का विषय हो सकती हैं और इनके द्वारा भौतिक विज्ञान की एक नवीन शाखा बन सकती है। यह आविष्करण तो वास्तव में १८वीं शताब्दी के अन्त में और १९वीं शताब्दी के प्रारम्भ में ही हुआ था। यहा यह जान लेना भी रोचक होगा कि यही समय व्यतिकरण के आविष्कार और तरंग सिद्धांत के विकास का भी था। विज्ञान के इतिहास के इस आश्चर्यजनक काल का महत्त्व विद्युत् और प्रकाश के आधुनिक विज्ञानों की उत्पत्ति के कारण स्थूल मापदंडीय भौतिक विज्ञान के लिए उतना ही है जितना पारमाणविक भौतिक विज्ञान के लिए पिछले पचास वर्षों का है।

यहा हमारी इच्छा विद्युत् विज्ञान के विकास के इतिहास का विस्तृत विवरण देने की नहीं है जो न हम यह विश्लेषण करना चाहते हैं कि वाल्टा^३, कलम्बे^४,

रीस्टेड^१ देवा^२ रिया^३ गाल्वा^४ गाल्वा अम्पीयर^५ फरड^६ और जेन फारिगा^७ १८२० नवीन विज्ञान के निमाण में इस नाम दिया था। एका अध्ययन निम्न हो बहुत रास हागा विन्तु का बग रखा हागा जोर जिन विषय पर १८२० इस समय विचार कर रहे हैं उन का हम बहुत दूर २ जायगा। अम्पियर हम का कहार जनाय बरमे वि १०३३ गाल्वा^८ के मध्य १ वां दिया के नियम पमान रूप में पात हा १८२० और यह समझ हा गया था कि उनका सम्बन्ध १८२० उन्हें एक समानो मिद्धात के रूप में मघानि करे का प्रयास दिया जाय। का विज्ञान पाय जात काय मरान^९ के द्वारा अपन पूर्ववर्ती बानिना के काय के जागर में अपने ध्वनिगत मता गणा की मयता १ सम्पानि हुआ था और उन्हा के द्वारा उम व्यापन रिक्त उम्बरीय मिद्धात का निमाण हुआ था जिनका नाय उनका नाम मरान^{१०} ह। मरान^{११} रिक्त के सम्बन्ध नियमा का एक ही समीकरण-मध में मग्नेपिण करने में मरान^{१२} हुआ था और य समीकरण अभी तर मरान^{१३} समीकरण के नाम में ही प्रसिद्ध ह। इस मरान^{१४} समीकरण के अन्तर्गत दो दिष्ट राणीय समीकरण तथा दो अदिष्ट राणीय समीकरण सम्मिलित ह। दोना दिष्ट-राणीय समीकरण निदेशावा के मघटका द्वारा निर्मित छ समीकरण का निरूपित करत ह। इन समीकरण के एक पक्ष में ता बन्धन के तथा बहुत और चुम्बकीय प्रेरणा के मघटक निरूपित रहत ह और दूसरे पक्ष में बहुत-आना^{१५} और धारा^{१६} के घनत्व^{१७}। दिष्ट राणीय समीकरण में म एन ता फरड द्वारा आविष्कृत प्रेरण के महान नियम का व्यवन करता ह। एक अदिष्ट राणीय समीकरण इस बात का दान^{१८} है कि विमी अवेले चुम्बकीय ध्रुव का पयकरण जगमज है। और दूसरा अदिष्ट राणीय समीकरण बहुत बल के प्रवाह^{१९} सम्बन्धी गाउन के प्रमय^{२०} का गलान्तर है। विन्तु दूसरे दिष्टराणीय समीकरण के लिखने में ही हम विद्युत-चुम्बकीय मिद्धात का सम्बन्ध की अमरी व्यनितगत सहायता मिगी ह। इस द्वितीय समीकरण का उद्देश यह स्पष्ट करना है कि अम्पीयर द्वारा आविष्कृत नियमा के अनुसार विद्युत धारा का सम्बन्ध चुम्बकीय क्षेत्र से निम प्रसार का है। इन नियमा के अनुसार हम यह लिखना पन्ता ह कि चुम्बकीय क्षेत्र का बल (मानका पर अवलम्बित विमी अन्तर गुणान के साथ) विद्युत धारा के घनत्व के बराबर हाता है।

1 Oersted 2 Davy 3 Biot 4 Laplace 5 Gauss 6 Ampere
7 Faraday 8 John Clark Maxwell 9 Inductions 10 Electric Charges
11 Currents 12 densities 13 Flux 14 Gauss's theorem 15 Curl

किन्तु मैक्सवेल ने देखा कि यदि इन समीकरणा में निविष्ट विद्युत् धारा का केवल विद्युत् का ही प्रवाह समझा जाय तो कुछ कठिनाइयाँ उपस्थित होती हैं। इनकी निराकरण करने के लिए उनकी प्रशसनीय सूझ से यह कल्पना उत्पन्न हुई कि विद्युत् धारा-व्ययजक पदमहति^१ का पूरण बनाने के लिए चालन^२ और सवहन^३ जनित विद्युत् विस्थापन का निरूपित करनेवाले पदों में वैद्युत प्रेरण के तात्कालिक परिणमन^४ सम्बन्धी एक और पद जोड़ देना चाहिए। यह नया पद एक नवीन प्रकार की धारा का निरूपित करता है जिस 'विस्थापन धारा' कहत है और जिसका विद्युत् के प्रवाह से कोई आवश्यक सम्बन्ध नहीं है। यह ठीक है कि ध्रुवणीय माध्यमा^५ में इस विस्थापन-धारा के एक अंश को ध्रुवण द्वारा उत्पन्न विद्युत् के स्वतन्त्र आवेशों का प्रवाह समझा जा सकता है। किन्तु परिणमनशील वैद्युत् बल-क्षेत्र की उपस्थिति में विस्थापन धारा का दूसरा अंश शून्याकाश में भी सदा विद्यमान रहता है और यह अंग विद्युत् के प्रवाह से सध्या स्वतन्त्र होता है। जिन कठिनाइयों का हमने ऊपर जिक्र किया था उन्हें दूर करने का श्रेय विस्थापन धारा की इस परिकल्पना को ही है। और इसी के द्वारा निर्मीलित^६ और उन्मीलित^७ धाराओं की कठिन समस्या का भी रहस्य खुल गया जिसको लेकर उस समय के सद्धान्तिक व्यस्त रहते थे क्योंकि विस्थापन धारा का सम्मिलित कर लेने पर निर्मालित धाराओं के अतिरिक्त और किसी प्रकार की धाराओं का अस्तित्व ही नहीं रहता।

किन्तु वैद्युत् घटनाओं के व्यापक समीकरण प्राप्त कर लेने के बाद वास्तव में मैक्सवेल की प्रतिभापूर्ण सूझ तो यह थी कि उन्होंने इन समीकरणा में प्रकाश को भी विद्युत्-चुम्बकीय विकीर्ण^८ समझ लेने की सभावना देखी। इसके द्वारा उन्होंने सम्पूर्ण प्रकाश विज्ञान को भी विद्युत् चुम्बकत्व के ढाँचे में ही बैठे दिया और विज्ञान की ऐसी दो गलतियों का एकीकरण कर दिया जो विलकुल ही विभिन्न जान पड़ती थी और इस प्रकार उन्होंने हमारे सामने भौतिक विज्ञान के इतिहास के सुन्दरतम सश्लेषणा का एक उत्कृष्ट उदाहरण प्रस्तुत कर दिया।

मैक्सवेल ने इस सश्लेषण को कैसे प्राप्त किया यह बात समझने के लिए यह समझना आवश्यक है कि उन विद्युत्-चुम्बकीय समीकरणा में एक नियतांक विद्यमान है जो विद्युत् चुम्बकीय पदार्थ और स्थिर-वैद्युत्-पदार्थ के आवेशों जैसा बल-क्षेत्र

1 Expression 2 Conduction 3 Convection 4 Terms 5 Variation
 6 Displacement current 7 Polarizable media 8 free charges 9 Closed
 10 Open 11 Disturbance

के मात्रका के अनुपात के बराबर होता है। उन मूल समीकरणों के मयाजन से यह सरलतापूर्वक सिद्ध हो जाता है कि 'गूयाका' में विद्युत चुम्बकीय तरंग क्षेत्रों का प्रचरण तरंग-समीकरण के अनुरूप होता है और इस प्रचरण का वेग प्रकाश की गति के बराबर होता है। इसलिए यदि हम मैक्सवेल के समान प्रकाश का विद्युत चुम्बकीय विक्षोभ समझना चाहें तो हमें यह भी मानना पड़ेगा कि 'गूयाका' में प्रकाश प्रचरण का वेग (जो साधारणतः अक्षर c के द्वारा व्यक्त किया जाता है) मात्रका के इस अनुपात के बराबर ही होना चाहिए। मैक्सवेल के समय में प्रकाश वेग के जो माध्यम माने गए थे उनके द्वारा उस समय भी यह कहा जा सकता था कि यह समता ३ या ४ प्रतिशत तक तो यथाथ हो थी। उसके बाद जितने भी नाप लिये गये हैं उनमें प्रकट होता है कि यह समता पूर्णतः यथाथ है। इस बात से मैक्सवेल द्वारा प्रस्तावित प्रकाश की विद्युत चुम्बकीय धारणा की सत्यता आश्चर्यजनक रीति से प्रमाणित हो जाती है।

मैक्सवेल की धारणा के अनुसार 'गूयाका' में प्रकाश की एकवर्ण समतल तरंग दो दिष्ट राशियों के द्वारा सन्निहित होती है। ये दिष्ट राशियाँ विद्युत और चुम्बकीय क्षेत्र हैं जो उस तरंग की आवृत्ति से ही कंपन करती हैं और प्रकाश-मामन की दिशा में ही प्रचरण करते हैं। ये राशियाँ बराबर परिमाण की होती हैं परस्पर समकालिक तथा प्रचरण की दिशा से भी समकालिक होती हैं। और समकालिक^१ भी होती हैं। इन विद्युत कंपनों के साथ ईथर के प्रत्यास्थ कंपनों की तुलना करने में प्रनेल के सिद्धान्त के सभी परिणाम प्राप्त हो सकते हैं। हम या भी कह सकते हैं कि इसके लिए एक का दूसरी भाषा में रूपान्तरित कर देना ही पर्याप्त है। विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त में ईथर के सम्बन्ध में इसमें अधिक और कुछ भी ठीक तरह नहीं कहा जा सकता। उसमें केवल यह मान लेना ही काफी है कि प्रत्येक बिन्दु पर 'गूयाका' के गुण विद्युत क्षेत्र तथा चुम्बकीय क्षेत्र की दो दिष्ट राशियाँ के द्वारा निर्णीत हो जाते हैं। तब यह सिद्धान्त वह निरपेक्ष रूप धारण कर लेता है जो आधुनिक भौतिक विज्ञान के अधिकतर सिद्धान्तों का लक्षण है। विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त की यह निरपेक्षता उस रूप में और भी अधिक प्रत्यक्ष हो जाती है जो मैक्सवेल के पदचान 'हर्ट्ज'^४ के द्वारा इस सिद्धान्त का दिया गया था। फिर भी उस समय के अनेक भौतिकज्ञों को इस विद्युत चुम्बकीय क्षेत्र का महारा देने के लिए यह मानने की

आवश्यकता प्रतीत होती थी कि वह किसी द्रव्य विक्षेप की अवस्था है। इस बात का बड़ी कोशिश की गयी—विशेषकर लाड केल्विन^१ के द्वारा—कि ईथर के तनावों और विकृतियाँ^२ की सहायता से विद्युत चुम्बकीय घटनाओं को यांत्रिकीय निम्न सम्भव हो जाय। किंतु ये निरूपण पूणतः सतोपजनक कभी नहीं हो पाये। अतः अंत में उन पर स विश्वास जाना रहा। तब से ईथर का काम केवल निर्देशन के लिए कल्पित माध्यम की तरह का ही रह गया है जिसके द्वारा ऐसे निर्देशक-तंत्र निर्णीत हो सकते हैं जिनकी अपेक्षा मैक्सवेल के समीकरण अपने साधारण रूप में सत्य माने जा सकते हैं। उसका काय इतना मीमित हो जाने पर भी ईथर दुखदायी ही बना रहा। परम अच्छा^३ अक्षा को ईथर निर्णीत कर सकता है, इस धारणा के द्वारा जा गतिशील वस्तुओं का विद्युत-चार्ज विज्ञान^४ बनाया गया था वह बना जटिल था और अंत में प्रमाणित हो गया कि प्रयोगों के द्वारा उसका समर्थन भी नहीं होता। आपक्षिकता के सिद्धान्त ने ईथर की धारणा का पूणत्याग करने में अग्रणी होकर इस दुरवस्थिति को दूर कर दिया है।

हट्ज^५ द्वारा विद्युत-चुम्बकीय तरंगों (हट्जीय कंपना) के आविष्कार से मैक्सवेल की विचारधारा का सबसे अधिक सतोपजनक सत्यापन हुआ है। विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त ने वास्तव में यह प्रागुक्ति पहले ही कर दी थी कि यदि हम रिमो बैद्युत परिपथ में काफी ऊँची आवृत्ति^६ की विद्युत चुम्बकीय घटनाएँ उत्पन्न करने में सफल हो जायें तो चारा ओर के आकाश में एक विद्युत चुम्बकीय तरंग की उत्पत्ति सम्भव हो सकती है और मैक्सवेल की धारणा के अनुसार इस तरंग की सरपटता विलुल प्रकाश-तरंगों की सरपटता के समान ही होनी चाहिए। किन्तु किसी व्यावहारिक बैद्युत परिपथ में से जा तरंगें उत्पन्न हो सकती हैं उनकी आवृत्ति प्रकाश तरंगों की अपेक्षा बहुत ही कम होती है और तरंग-दैर्घ्य^७ बहुत ही लम्बा होता है। इस बात में स्वभावतः ही उन तरंगों के महत्त्वपूर्ण गुणों में भी अन्तर पड़ा जाता है। हट्जीय तरंगों का हमारी इन्द्रिया पर कोई असर नहीं होता और उनका दृश्य बनना हमारे के कारण बसुन्कर विस्तृत अपरोधों के पीछे भी गुप्तता से पहुँच जाता है। फिर भी, इन विभिन्नताओं के विद्यमान रहने पर भी प्रकाश-तरंगों में और हट्जीय तरंगों में बहुत बड़ी समानता है। परावर्तन, वक्रन, व्यतिकरण, अपरा

१ Lord Kelvin २ Tension ३ Deformations ४ Absolutely at rest
५ Electro-dynamics ६ Theory of Relativity ७ Hertz ८ Frequency
९ Wave length

विवेकन के गभी प्रयाग जा प्रयाग-नरगा व निष् पुगा प्रयाग थे हट तीय तरगा के द्वारा नी गमराति हा गन ह। किनु तरा-ध्य त्रिख हान व कारण स्वभावन ही यह आवश्यक हाता रि प्राचागिन व्यवस्था नी बनु अधिख स्थल परिमाण वानी बना दी जाय। हट जीय तरगा के तथा उनक गुणा व इत चिन्मरणाय आविष्कार व कारण अत्र मन्मबन् की प्रयाग-गन्धर्वा प्रधान धारणाया की मौनिय सजना के विषय म बाई मन्त्र बाका नहा ह गया हैं। यह कहन की ता गाय ही आवश्यकता हा कि हट जीय तरगा व आविष्कार म ही रटिया तथा उनम उपर अय कई प्रकार की दूर-मचारण की प्रणालिया का गम हुआ ह।

विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त व द्वारा हम नैतिन माध्यमा मे भी प्रवाग प्रचरण का अध्ययन कर सकत ह। इसम हमें यह विद्यान समीकरण प्राप्त हाता ह जिनक द्वारा बिना समागी माध्यम व पारव्युत्पात^१ में और उनक बननाय में पारस्परिक सम्बन्ध प्रकट हाता हैं और एगीम हम बालक माध्यमा में प्रयाग के क्षय^२ का नी विदलेपण कर सकत ह। किनु मया अधिख महत्व की बात यह ह कि जब इन सिद्धान्त में हम यह परिवर्तना जाड दन ह कि द्रव्य के अतगत विद्युत की मरचना अमलत हाती है (इन्ड्रान-परिवर्तना) तब ता नैतिक माध्यमा में नी प्रयाग प्रचरण का परिपूर्ण विदलेपण नभव हा जाना है। इस परिवर्तना पर अगले परिच्छद में हम पुन विचार करेग।

४ ऊष्मा-गतिकी^३

चिरप्रतिष्ठित विज्ञान के इस छोटे-म विवचा का हम उन विज्ञान ऊष्मा गतिकी के विषय में थोटे-म दावद वह बिना समाप्त नही कर सकत जिनका समस्त निमाण १९वा गतादी के बनानिका के द्वारा ही किया गया था। १८वी गतादी म यह माना जाता था कि ऊष्मा एक तरल पदार्थ ह जा अविनाशी ह अर्थात् विभिन्न भौतिक रूपांतरणा स भी जिसका सम्पूर्ण माना म कुछ भी घट-वड नही होती। बहुत म प्रमगा में ता यह परिवर्तना पूणत पयाप्त हाती है—विशेषत पदार्थों में हानेवाले ऊष्मा प्रवाह के अध्ययन में। फूरियर^४ द्वारा प्रतिपादित ऊष्मा प्रवाह का सुद्ध सिद्धांत उन समीकरणा से प्रारम्भ होता ह जा इस ऊष्मा तरल (क्लारिक)^५ की अविनाशिता के धानक ह। किनु इस दष्टिवाण स उन बहुत सी घटनाया की

व्याख्या करना कठिन हो जाता है जिनमें ऊष्मा घषण के द्वारा उत्पन्न होती है। अतः धीरे-धीरे भौतिकज्ञ ऊष्मा को अविनाशी द्रव्य के स्थान में एक पदार्थ का ऊर्जा मानने लगे। हमारे चारों ओर जितनी शुद्ध यांत्रिक घटनाएँ होती रहती हैं उन सब में सदैव ऊर्जा की अविनाशिता वनमान रहती है सिवाय उस अवस्था के जिसमें घषण विद्यमान रहता है और उसी से ऊष्मा की उत्पत्ति होता है। यदि ऊष्मा का भी ऊर्जा का ही एक रूप समझ लिया जाय तो ऊर्जा की अविनाशिता का सिद्धान्त व्यापक माना जा सकता है। यहाँ यह स्पष्ट करना की आवश्यकता नहीं है कि लगभग गत शताब्दी के मध्य में भौतिकज्ञ के मन में यह सिद्धान्त किस प्रकार स्पष्टतः प्रगट हुआ था और किस प्रकार ऊष्मा के यांत्रिक तुल्याक^१ की माप कर इसकी पुष्टि की गयी थी। किन्तु यह विदित है कि केवल ऊर्जा की अविनाशिता का सिद्धान्त ही ऊष्मा-गतिकी के विज्ञान के निर्माण के लिए काफी नहीं है। उनमें कानों^२ के सिद्धान्त का अर्थात् एन्ट्रोपी^३ की वृद्धि के सिद्धान्त का समावेश भी आवश्यक है। कानों ने १८२४ में ही सबसे पहले इस सिद्धान्त की ओर संकेत किया था, जब उन्होंने ऊष्म की संचालन शक्ति^४ पर अपने विचार लिखे थे और उन्हें यह मालूम हुआ था कि ऊष्मा पूर्णतः कार्य^५ में परिणत नहीं की जा सकती। इसी विचार से कुछ वर्षों बाद उन सिद्धान्त की उत्पत्ति हुई जिसका उपयोग हम आज करते हैं। उसे व्यक्त करने के लिए क्लासियस^६ ने एन्ट्रोपी की धारणा का जन्म दिया और यह प्रमाणित कर दिया कि किसी भी कार्यसंयुक्त^७ निकाय की एन्ट्रोपी सदा बढ़ती ही जाती है।

इन दो मूल सिद्धान्तों के आधार पर ही ऊष्मा-गतिकी का विकास हुआ है जिसके द्वारा अनेक घटनाओं की प्रागुक्ति हो सकती है और जो उन घटनाओं का व्याख्या के लिए—विशेषकर गैसों के सिद्धान्त के लिए—अत्यन्त आवश्यक है। यह एक निरपेक्ष^८ विज्ञान है जिसमें केवल वस्तुओं में संचित ऊर्जा का और ऊष्मा अपना कार्य की मापना के विनिमय^९ का ही विवेचन किया जाता है। यह मूल घटनाओं की चारीकिया का विस्तृत विवरण देने का प्रयत्न नहीं करता। उसका सम्बन्ध तो केवल घटनाओं के मूल पक्षों में ही है। इन मूल घटनाओं के विविध प्रकार से अनेक विवरणों के साथ उनकी गणना सम्भव है। वह तो केवल उन प्रक्रियाओं का निर्णय कर रहा है जिनका पूरा हल प्रत्येक विवरण के लिए सम्भव है।

1 Mechanical equivalent of heat 2 Carnot 3 Entropy 4 Motive power 5 Work 6 Clausius 7 Isolated 8 Abstract 9 Exchange

[illegible]

तीसरा परिच्छेद

परमाणु और कणिकाएँ

१ द्रव्य की परमाणुमय संरचना^१

यह सली भाति विदित है कि अत्यन्त प्राचीन काल के विचारकों का द्रव्य का परमाणुमय संरचना का थोड़ा-बहुत अन्तर्धान था। उनको इसकी उपलब्धि इस दार्शनिक धारणा के कारण हुई थी कि द्रव्य में अन्त विभाज्यता की कल्पना करना संभव नहीं है और उसको उत्तरोत्तर अधिक छोटी मात्राओं में विभाजित करने की क्रिया का, कहीं न कहीं, अन्त हो जाना अनिवार्य है। उनकी दृष्टि में परमाणु वह चरम अविभाज्य अंश था जिससे परे जानने योग्य और कुछ हा ही नहीं सकता। आधुनिक भौतिक विज्ञान भी द्रव्य की परमाणविक कल्पना पर जो पकड़ा है परन्तु उसका परमाणु उस प्राचीन परमाणु से मकरा भिन्न है क्योंकि अब वह अत्यन्त अल्पतर अंशों का छोटे से आकार का जटिल संघटन माना जाता है। आधुनिक भौतिकशास्त्र के मतानुसार पुरातन विद्वानों के अर्थ में तो सच्चे परमाणु 'एकद्वाना' जैसी वे मूल-कणिकाएँ ही हैं जो आज (संभवतः अस्थायी रूप से) परमाणु का और इसलिए द्रव्य की भी चरम संघटक समझी जाती हैं।

यह निश्चित है कि सबसे पहले समायनशा ने ही आधुनिक विज्ञान में परमाणुओं को यथार्थतः निरूपित किया था। वास्तव में रासायनिक दृष्टि से सुनिश्चित पदार्थों के गुण घटकों के अध्ययन का ही यह परिणाम था कि समस्त पदार्थों का दो वर्गों में विभाजित करना पड़ा था—(१) योगिक पदार्थ जो उचित क्रिया करने से टूटकर सरलतर पदार्थों में परिणत हो सकते हैं और (२) वे निरवयव पदार्थ जिनके विघटन के समस्त प्रयत्न विफल होते हैं (कम से कम उन अपवाह-स्वरूप तत्वावधारणों को

१ Atoms and Corpuscles २ Atomic Structure of Matter ३ Electrons
४ Decomposition & Transmutations

छोड़कर जिनका ज्ञान आयुनिव भौतिकज्ञा को हो चुका है)। ये निरवयव पदार्थ तत्त्व^१ कहलाते हैं। जिन पारमाण्विक नियमों के अनुसार तत्त्व परस्पर मिलकर यौगिक पदार्थों का निर्माण करते हैं उन्हीं के विवेचन ने जर्मन भौतिकज्ञा के रसायनज्ञा को निम्नलिखित सिद्धान्त का प्रतिपादन करने के लिए बाध्य किया था —

प्रत्येक तत्त्व अत्यन्त छोटे और विलगुल एक-एक कणों का बना हुआ होता है और ये उस तत्त्व के परमाणु कहलाते हैं। यौगिक पदार्थ अणुओं^२ द्वारा बने होते हैं जो कई परमाणुओं के संयोजन से निर्मित होते हैं।

इस सिद्धान्त के अनुसार किसी यौगिक पदार्थ का विघटन करके तत्त्वों को प्राप्त करने का अर्थ है अणुओं को तोड़कर उनमें अवस्थित परमाणुओं का मुक्त कर देना। पूर्णतः सुनिश्चित तत्त्वों की सूची लम्बी हो गयी है। उसमें ८९ नाम हैं और जो धारण आगे चलकर बताये जायेंगे उनके द्वारा यह निश्चित है कि यदि सूची पूरी होती तो उसमें कम से कम ९२ नाम होते। इसलिए जिन परमाणुओं से समस्त भौतिक पदार्थ बने हैं वे कम से कम ९२ प्रकार के हैं।

इस परमाणु सिद्धान्त ने केवल मूल रासायनिक घटनाओं की व्याख्या करने में ही सफलता नहीं प्राप्त की है, किन्तु उसके द्वारा भौतिक सिद्धान्तों के निर्माण में भी सहायता मिली है। यदि सचमुच ही वस्तुएँ परमाणुओं से बनी हुई हैं तो इस पारमाण्विक संरचना के आधार पर ही उनके भौतिक गुणों की प्रागुक्ति संभव होनी चाहिए। उदाहरण के लिए गैसों के सुपरिचित गुणों की व्याख्या इस धारणा के द्वारा हो सकती है कि वे तीव्रगामी अणुओं और परमाणुओं की बहुत बड़ी संख्या के द्वारा बनी हुई हैं। जिस पात्र में गैस भरी है उसकी दीवारों पर गैस का जो दबाव होता है वह उन दीवारों पर लगनेवाली अणुओं की टक्करों के कारण ही होना चाहिए।

गैस का टेम्परेचर इन अणुओं के औसत आन्दोलन से सम्बन्धित होना चाहिए और टेम्परेचर के बढ़ने में इस आन्दोलन में वृद्धि भी होनी चाहिए। गैसों के सम्बन्ध में इस धारणा का विकास गैसों के गणितमय सिद्धान्त^३ के रूप में हुआ है और उसके द्वारा गैसों के प्रयोगात्मक नियमों में संशोधन भी हुआ है। इसके अतिरिक्त यदि पारमाण्विक धारणा तथ्य का यथार्थ निरूपण हो तो ठोस और द्रव द्रव्यों के गुणों की व्याख्या भी यह मानकर हो जानी चाहिए कि वे भी भौतिक अवस्थाओं

मे अणु या परमाणु गैसों की अपेक्षा बहुत नजदीक-नजदीक होते हैं और उनके पारस्परिक बंधन अधिक प्रबल होते हैं। जब अणु या परमाणु बहुत अधिक पान पाम होने हैं तो उनके पारस्परिक बल भी बहुत बड़े हो जाते हैं यह मान हमें ठान और द्रव पदार्थों के असंपीड्यता¹, समज² आदि गुणों का कारण भी समझ में आ सकता है। इस दिशा में जिन सिद्धान्तों का विकास हुआ है उनमें कुछ कठिनाइयाँ भी उपस्थित हुई थी जिनमें से अनेक तो क्वांटम सिद्धान्त के द्वारा दूर हो गयी हैं। फिर भी उनमें निकले हुए परिणाम अधिकतर इतने सतोपजनक हैं कि यह मान लेना अनुचित नहीं कि हम ठीक माग पर ही चल रहे हैं।

किन्तु यद्यपि पारमाणविक परिकल्पना अनेक भौतिक सिद्धान्तों के आधार के रूप में उपयोगी सिद्ध हुई है फिर भी उसकी पूर्ण प्रतिष्ठा के लिए यह बात कम अनिवार्य नहीं थी कि उसकी यथार्थता पूर्णतः अथवा अंशतः प्रत्यक्ष प्रयोगों के द्वारा भी प्रमाणित कर दी जाय। इस काम का अधिकतर भाग तीसरे वर्ष पहले उन भौतिकज्ञों के द्वारा सम्पन्न हुआ था जिनमें जीनपेरा को अवश्य ही अग्रणी समझना चाहिए। इस प्रसंग में उनके प्रयोग चिरस्मरणीय रहेंगे। यद्यपि यह असम्भव है कि इन अणुओं या परमाणुओं की गति को हम प्रत्यक्ष देख सकें तथापि कम से कम यह तो सम्भव है ही कि गैस या द्रव में तैरते हुए अत्यंत छोटे कणों में अणुओं अथवा परमाणुओं की टक्करों से उत्पन्न उच्छल³ गति का हम प्रेक्षण कर सकें। ब्राउनियन गति⁴ नामक इस विक्षुब्ध गति के अध्ययन के द्वारा माधारण टेम्परेचर और दबाव की अवस्था में किसी भी गैस के एक ग्राम-अणु⁵ में विद्यमान अणुओं की संख्या का अनुमान करने में जीनपेरा को सफलता प्राप्त हो गयी। यह विदित है कि माधारण रसायन विज्ञान के ऐवागाड्रो⁶ द्वारा आविष्कृत सुविख्यात नियम का अनुसार यह संख्या समस्त गैसों के लिए बराबर है। यह ऐवागाड्रो की संख्या⁷ कहलाता है। जीनपेरा के प्रयोगों के द्वारा इस संख्या का मान 6×10^{23} और 6×10^{23} के बीच निराला था और उसके बाद जितने भी प्रयोग किये गये हैं उनमें इस अनुमान की आवश्यकता नहीं पड़ी है। ऐवागाड्रो-संख्या का अनुमान अन्य अनेक प्रकार की रीतियों से भी प्राप्त हो सकता है। ये रीतियाँ बड़े संख्या विभिन्न घटनाओं के अन्तर्गत पर आधारित हैं यथा ऊष्मा-अनिवार्य गतु⁸ में अवस्थित विनिरण ऊर्जा⁹ का

1 Incompressibility 2 Cohesion 3 Random 4 Brownian motion
5 Gram molecule 6 Avogadro 7 Avogadro Number 8 Root-mean-square 9 Heat energy

स्पेक्ट्रमीय वितरण^१ गैस द्वारा प्रकाश का प्रकीर्णन^२ स्वात्मज्यो पदार्थों^३ से ऐक्य-
किरणा का उत्पन्न^४। इन विविध रीतियां से प्राप्त एकाग्रता की मर्यादों के तथा
उनके द्वारा निर्गमित^५ जय पारमाणविक किरणियां (यथा हाइड्रोजन के परमाणु का
द्रव्यमान) के मानों में इतनी समता पायी गयी है कि अब पारमाणविक परिवर्तनता
की सत्यता में शंका नहीं किया जा सकता।

इस प्रकार रसायनशास्त्र द्वारा कल्पित परमाणुओं का अस्तित्व भौतिकशास्त्र द्वारा
प्रत्यक्ष प्रमाणित कर दिया गया है। अब यह दर्शना है कि सैद्धांतिकों ने इसका
उपयोग किस प्रकार किया है।

२ गैसों का गत्यात्मक सिद्धान्त और सार्वत्रिकीय यांत्रिकी^६

यदि हम वह दृष्टिकोण स्वीकार कर लें जिसमें यह मान लिया जाता है कि समस्त
पदार्थ परमाणुओं से बने हैं तो हमें यह मानना पड़ता है कि गैस अवस्था में ये परमाणु
औसत रूप से इतने अधिक दूर-दूर अवस्थित रहेंगे कि समय के अतिनितर भाग
में तो वे पारस्परिक प्रभाव में मुक्त ही रहेंगे। कभी-कभी अत्यंत छोटे समय के
लिए कोई परमाणु गम के अन्य किसी परमाणु के अथवा पान की दीवार के इतने
निजट जा पहुँचेगा कि उस पर उनकी प्रतिक्रिया हो सके। ऐसी अवस्था में यह
कहा जाता है कि उसकी अथ किसी परमाणु में अथवा पान की दीवार से टक्कर
हो गयी। दो टक्करों के बीच में परमाणु स्वतन्त्र रूप में गमन करेगा और उस पर
कोई ऐसा बल नहीं लगेगा जो उसे क्षणिक न हो। और यद्यपि प्रति सेकंड होनेवाली
टक्करों की मर्याद बहुत ही अधिक होती है तथापि किसी भी परमाणु के लिए इन
टक्करों में लगनेवाला समस्त समय स्वतन्त्र गति के समय की अपेक्षा अनन्ततः स्वल्प
होगा। यदि यह मान लिया जाय कि चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी के नियम परमाणुओं
के लिए भी यथायह हैं तो स्पष्ट है कि दो टक्करों के बीच में परमाणु की गति सरल
रेखात्मक तथा अचर वेगवाली होगी और यद्यपि विभिन्न प्रकार की टक्करों
के विभिन्न परिणाम होंगे तथापि उन सब टक्करों में ऊर्जा और संवेग की अविनाशिता
के नियमों का पालन होना ही चाहिए। और अगर यह भी मान लिया जाय—कम
से कम इन टक्करों के परिणामों की प्रागुक्ति के लिए ही—कि परमाणु भी दृढ़ प्रत्यास्थ-
गोला के समान समवेग जा सकते हैं तब तो चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी के समीकरणों

की सहायता से गैस की सम्पूर्ण प्रक्रिया का परिवर्तन संभव हो जाना चाहिए। किन्तु यद्यपि गैस का जो रूप उसे दृढ़ प्रत्यास्थ-गोला के सदृश अणुआ और परमाणुआ से बनी मान लेने से प्रकट होता है उसकी समस्या पूर्णतः सुनिश्चित है और मिथ्यात्व उसका पूर्णतः शुद्ध हल भी संभव है तथापि इस समस्या में इतनी जटिलताएँ विद्यमान हैं कि उसका यथार्थ और व्योरेवार हल प्राप्त कर सकने की कोई संभावना हा हा नहीं सकती। यह बात समझने के लिए हमें स्मरण रखना चाहिए कि साधारण अवस्थाओं में प्रत्येक घन सेंटीमीटर आयतन में परमाणुआ की संख्या 10^{24} का काटि की होती है और इनमें से प्रत्येक परमाणु पर प्रति सेकंड लगभग 10^6 टक्करें लगती रहती है।

अतः यह समस्या असाध्य ही मालूम पड़ती है। फिर भी जिन नियमों का आधिपत्य गैसों पर है वे अत्यन्त सरल हैं—कम से कम उस दशा में जब हम प्रथम सन्निकटना से ही सन्तुष्ट रह सकें (आदर्श गैसों के नियम)। अतः यह बात संभवतः बड़ा विचित्र जान पड़ेगी कि गतिशील परमाणुओं की धारणा के द्वारा गैसों का जो इतना जटिल रूप प्रकट होता है उससे प्रारम्भ करके हम इतने सरल नियमों का कारण समझने की आशा करते हैं। किन्तु वास्तव में इन सरल नियमों के निगमन की संभावना का कारण गैसों के स्वरूप की इस जटिलता की पराकाष्ठा ही है। गैसों के अणुओं में वर्तमान गत्यात्मक प्रक्रियाओं की सत्यता असाधारणतः बड़ी होने के कारण हा हम प्रायिकता-कलन¹ की सहायता से इन प्रक्रियाओं की समष्टि का अध्ययन कर सकते हैं और इनके माध्यमों के नियम इतनी यथार्थतापूर्वक और बहुधा अत्यन्त सरल रूप में प्राप्त कर सकते हैं। इन नियमों के किसी अपवाद के प्रेक्षण की संभावना बहुत ही कम है क्योंकि इन औसत परिणामों को प्राप्त करने के लिए जिन सूक्ष्म प्रक्रियाओं का उपयोग किया गया है उनकी संख्या असाधारणतः बड़ी है।

गैसों के गत्यात्मक सिद्धान्त का विकास १९ वीं शताब्दी के उत्तरार्ध में प्रारम्भ में मुख्यतः मक्सवेल² और क्लासियस³ के द्वारा सम्पन्न हुआ था और यह कहा जा सकता है कि बोल्ट्ज़मान⁴ के प्रयत्न से ही उसके नियमों का निमाण हुआ था। हमारा इरादा यहाँ इस सिद्धान्त के मुख्य परिणामों का विवरण संक्षिप्त रूप में देने का नहीं है क्योंकि जिन सैद्धांतिक भौतिक विज्ञान का धारा भी अध्ययन किया है वे सब इन परिणामों से सुपरिचित हैं। इनका ही यह दना काफ़ी हाँगा कि

इसमें पाय की दीवारा पर पानवाएँ दवाय की उत्पत्ति गन के अनुसारी जान्य टकरा के कारण मानो गयी २ और टम्परेचर अनुसारी गतिज ऊर्जा के जीमान मान का माप माना गया ३ । इन आणविक गति का जसम्यान्मोटरण ४ सम्बन्ध में प्राप्त हो जाता है । विनिष्ट ऊर्जा ५ गति के विगरण ६ तथा उनकी गतिमानता ७ आदि के सम्बन्ध में जने प्रसार के राखन और प्रथम सन्निकटन तक यथाथ प्रामाणिकता भी इस सिद्धान्त द्वारा प्राप्त हुई है । यह सब है कि अभी इस क्षण में ज्ञान प्रज्ञा का समाधान होना बाकी है । अभी हमें ही दिव्य राखट ८ जैसे विज्ञानों के जनगधानों का हाना कई नये रास्तों अवश्य खोज गये हैं । फिर भी सब बातों पर नष्टि सम्बन्ध यह मानना ही पड़ता है कि दिव्य की परमाणुमयी परिवर्तना पर जायागति गति की गत्यात्मन धारणा से ही वास्तविकता का बहुत अच्छा चित्रण हो सता है ।

ऐट्रॉपी की धारणा का स्पष्टीकरण गति के गत्यात्मन सिद्धान्त की एक वस्तु की सफलता है । गति के परमाणुओं की पारस्परिक टकरा का और उनका द्वारा सन्तुलित अवस्था की स्थापना का विच्छेपण रखे बोटजमान ने एक ऐसी राशि की धारणा का जन्म दिया है जो इन टकरा के ही कारण बराबर तब तब बन्ती ही जाती है जब तक कि सन्तुलित अवस्था स्थापित न हो जाय और तब इस राशि का मान महत्तम हो जाता है । ऐट्रॉपी ने इस राशि की समानता प्रत्यक्ष है और बोटजमान ने प्रमाणित कर दिया कि ऐट्रॉपी गैसीय द्रव्य की तात्कालिक अवस्था की प्रायिकता के लॉगरिथ्म ९ के बराबर होती है ।

ऐट्रॉपी की जिस धारणा को जारो प्लावर १० ने अनयत अभौतिक धारणा कर दिया था उसके भौतिक अर्थ पर हम बहनय के द्वारा विवाद प्रकाश पड़ा है । और अब बगमियस के जिस प्रमेय के अनुसार किसी भी जनयमसन्न वस्तु निवास की ऐट्रॉपी बराबर बन्ती ही जाती है उसका अर्थ यह हो गया है कि किसी भी अनय-समयन वस्तु निवास का बिबाध स्वतः ही उन अवस्थाओं की दिशा में जाता है जिनकी प्रायिकता अधिक होती है । ऐट्रॉपी की यह सुन्दर परिभाषा परमाणु सिद्धान्त के समर्थका की अपूर्व सफलता प्रकट करती है ।

ऊँचा विज्ञान में तो ऐट्रॉपी का सिद्धान्त एक अवाध्य प्रायोगिक तथ्य मान समझा जाता था, किन्तु गत्यात्मक सिद्धान्त ने अव्यवस्थित रूप से दोषों को दृष्ट अमम्य

परमाणुओं के सांख्यिकीय विकास का विवेचन करके इस सिद्धान्त का भौतिक रहस्य समझने में अनायास ही सफलता प्राप्त कर ली।

इस प्रकार गत्यात्मक सिद्धान्त के द्वारा सैद्धांतिकी का ध्यान बहुमूल्य रूप और अमम्वद यांत्रिक प्रक्रियाओं के सामूहिक तथा सांख्यिकीय पक्षों की ओर आकर्षित हुआ। और तब यांत्रिकी के व्यापक नियमों तथा प्रायिकता-कलन के सिद्धान्तों के आधार पर इन पक्षों के नियमित अध्ययन की प्रेरणा भी इसी गत्यात्मक सिद्धान्त से मिली। और पहले बोल्त्जमान ने और बाद में गिब्स ने सचमुच ही ऐसा अध्ययन कर लिया जिसका फल यह हुआ कि 'सांख्यिकीय यांत्रिकी' नामक एक नवीन विज्ञान का जन्म हो गया। इस सांख्यिकीय यांत्रिकी के द्वारा केवल गत्यात्मक सिद्धान्त के सभी सारपूर्ण परिणामों की पुनः स्थापना ही नहीं हुई, किंतु उसके द्वारा ऐसे व्यापक नियमों का भी उद्घाटन हो गया है जो गैसों के अतिरिक्त अणुओं और परमाणुओं के अन्य निकायों पर भी लागू किये जा सका है—यथा ठोस पिण्डों पर। ऊर्जा के समविभाजन^१ का सुविख्यात नियम भी ऐसे ही नियमों का उदाहरण है। इसके अनुसार किसी भी बहुसंख्यक अवयववाले निकाय को सन्तुलित अवस्था में उसका ऊर्जा विभिन्न स्वतंत्रता की कोटियों^२ में इस प्रकार वितरित होती है कि प्रत्येक कोटि की औसत ऊर्जा का परिमाण बराबर रहता है और यदि निकाय का परम टेम्परेचर^३ 'T' हो तो यह परिमाण 'T' का अनुपाती होता है। गैसों के लिए तो इस नियम के अन्तर्गत रोचक और बहुधा सु-सत्यापित परिणाम निकलते ही हैं, किंतु ठोस पिण्डों के लिए भी इस नियम का प्रागुक्त परिणाम यह निकलता है कि साधारणतः उनकी पारमाण्विक-ऊष्मा का मान ६ के बराबर होना चाहिए (ड्यूलांग और पेटिट का नियम^४)। अतः वह ३ से कम तो कभी हो ही नहीं सकता। ये प्रागुक्तियाँ भी बहुमूल्यक दशाओं में उतनी ही सुसत्यापित प्रमाणित हुई हैं। फिर भी यद्यपि सांख्यिकीय यांत्रिकी की ये सहाय्यहीन प्रागुक्तियाँ बहुधा प्रयोगात्मक परीक्षा में सही निकली हैं तो भी कभी-कभी ये अपर्याप्त भी पायी गयी हैं। जैसे बहुत नीचे टेम्परेचर पर गैसों की स्थिर आयतनवाली विशिष्ट ऊष्मा का परिवर्तन इस सिद्धान्त की प्रागुक्ति के अनुसार नहीं होता और कुछ ठोस पिण्डों (यथा हीरे) की पारमाण्विक ऊष्मा ३ से बहुत कम होती है। ये विपरीत बातें अवश्य ही क्षोभकारी थीं क्योंकि सांख्यिकीय यांत्रिकी की विधियाँ इतनी व्यापक होती हैं कि उनमें जपवाद होना ही

१ Statistical Mechanics २ Equipartition ३ Degrees of freedom
४ Absolute temperature ५ Atomic heat ६ Dulong and Petit's Law

नहीं चाहिए। और इसीलिए यह बात समझ में नहीं आती थी कि इतनी सु मत्पापित प्रागुन्नित्या के साथ ही-साय इस सिद्धान्त को कुछ प्रमगा में निर्विवाद रूप से अस्फुटता क्या मिले। हम देखेंगे कि क्वाटमा के आविष्कार ने ही चिरप्रतिष्ठित यात्रिकी की और फलन गिद्य और वोल्टजमान की मास्यिकीय यात्रिकी की विधिया के औचित्य की भीमाभा को निर्दिष्ट करके इस स्थिति के रहस्य का उदघाटन कर दिया है।

मास्यिकीय यात्रिकी में ऊष्मागतिकीय परिणामा का जा अर्थ बताया है उसके अनुसार ऊष्मा-गतिकी के नियमा में कठोर अनिवार्यता का गुण नहीं है। केवल उनके मत्पापन की प्रायिकता असाधारण रूप से अधिक है। जैसे यदि किसी पात्र में भरी हुई गैस का टेम्परेचर स्थिर रहे तो उसके ऊष्मा गतिकीय गणना में प्राप्त दबाव और एंटापी केवल इन राशिया के ऐसे प्रायिकतम मान माने जाते हैं जो उन आरापितप्रति बंधा से संगत हैं। किन्तु ये प्रायिकतम मान जय अत्यंत निकटवर्ती माना से इतने अधिक प्रायिक होते हैं कि केवल उही का प्रेक्षण हो सकता है। सिद्धांततः इन राशिया के तात्त्विक मानों में ऊष्मा-गतिकी द्वारा परिकल्पित प्रायिकतम मानों की अपेक्षा कुछ घट-बढ़ भी संभव है। यह घट-बढ़ अधिकतर तो इतनी कम और इतनी विरल होती है कि वह प्रेक्षण-सुलभ नहीं होती किन्तु कुछ अनुकूल स्थितियों में वह प्रत्यक्ष भी हो सकती है। उदाहरण के लिए हमें मालूम है कि सन्मण^१ टेम्परेचर के निवट गैस के घनत्व की घट-बढ़ कुछ प्रेक्षण गम्य अभिव्यक्तिया उत्पन्न करती है (मात्र-मणिक मेधिता^१)।

मास्यिकीय यात्रिकी की सफलता के कारण भौतिकशास्त्र का प्राकृतिक नियमा की उत्पत्ति सास्यिकीय मानने का अभ्यास हो गया है। गम्य द्रव्य में सूक्ष्म प्रक्रियाओं की सत्या अत्यधिक होने के कारण गैस के दबाव और एंटापी सरल नियमा का पालन करते हैं। ऊष्मागतिकीय नियम एसी परमाणु-स्तरीय घटनाओं के सास्यिकीय परिणाम माने हैं जिनका प्रत्यक्ष अध्ययन और सूक्ष्म विश्लेषण असंभव है। अर्थात् वे प्रायिकता के नियम हैं। पूर्णतः यथाथ यात्रिकीय नियम और यात्रिक घटनाओं की चरम प्राक् निर्णयिता तो परमाणु जगत में ही रहे जाते हैं और वहां वह प्रेक्षणगम्य नहीं होते। स्थूल जगत में केवल उनके औसत प्रायिक परिणाम ही प्रेक्षणगम्य होते हैं। इसी कारण सबसे पहले उस समय प्रायिकता के नियमों के महत्त्व की ओर ध्यान आकर्षित हुआ था और इस तथ्य की ओर भी कि कम से कम घटनाओं की बहुत बड़ी

सरया के लिए ता प्रेक्षण गम्य नियम औसता के ही नियम होने ह। हम देखें कि तरल यानिकी के द्वारा इस दृष्टि-बोध को और अधिक बल मिला ह और उसमें यह भी माना जाने लगा है कि स्वयं मूल-वर्णा के प्रेक्षण गम्य नियम भी प्रायिकता के ही नियम हैं।

३ विद्युत् की कणिकामय सरचना—इलेक्ट्रान और प्रोटान^१

जो हम ऊपर लिए जाये हैं उससे यह स्पष्ट हो जाता है कि रसायन विज्ञान के समान ही भौतिक विज्ञान में भी वह परिकल्पना सफल प्रमाणित हुई ह जिसमें वस्तुएँ अणुओं द्वारा बनी हुई और अणु मूल परमाणुओं के विविध प्रकार के सघन माने गये हैं, और प्रयोगों द्वारा भी इसकी अच्छी पुष्टि हुई ह। किन्तु भौतिकज्ञान ने इतने से ही सतोष नहीं किया। उन्होंने यह भी जानना चाहा कि स्वयं परमाणुओं की बनावट किस प्रकार की है और यह समझना चाहा कि विभिन्न तरलों के परमाणुओं में अन्तर किस प्रकार का है। इस कठिन कार्य में उन्हें विद्युत् की सरचना के ज्ञान की प्रगति से बहुत सहायता मिली है। वैद्युतिक घटनाओं के अध्ययन के प्रारम्भ से ही यह समझना स्वाभाविक मालूम होता था कि विद्युत एक तरल पदार्थ ह और जब धातु के किसी तार में विद्युत-धारा चलती है तो यह माना जाता था कि उस तार में किसी वैद्युतिक तरल का प्रवाह हो रहा है। किन्तु यह भी बहुत पहले से ज्ञात था कि विद्युत् दो प्रकार की होती है—धन विद्युत और ऋण विद्युत। इसलिए यह मानना भी आवश्यक जान पड़ा कि वैद्युतिक तरल भी दो विभिन्न प्रकार के होते हैं—धन-तरल और ऋण-तरल। इन तरलों को भी हम दो विभिन्न प्रकार से चित्रित कर सकते हैं, या तो हम यह कल्पना कर सकते हैं कि जिस प्रदेश में इन तरलों का अस्तित्व होता है उस सम्पूर्ण प्रदेश में कोई पदार्थ सतत अथवा अविच्छिन्न रूप से भरा हुआ है या हम यह समझ सकते हैं कि इन तरलों का स्वरूप अनेक अत्यन्त छोटी कणिकाओं से सघटित बादल के समान होता ह और प्रत्येक कणिका विद्युत की एक अत्यन्त छोटी-सी गोली के समान होती है। प्रयोग ने द्वितीय धारणा के ही पक्ष में फैसला दिया है। चालीस वर्ष पहले यह प्रमाणित हो गया था कि ऋण विद्युत एनी अत्यन्त छोटी-छोटी कणिकाओं के द्वारा बनी हुई है जो सब बिल्कुल एक-सी होती ह और जिनका द्रव्यमान और वैद्युतिक आवेश असाधारणतः छोटा होता है। ऋण

विद्युत की इन कणिकाओं का इलेक्ट्रॉन^१ कहते हैं। मसल पहेले ये इलेक्ट्रॉन विद्युत नलिकाओं^२ में द्रव्य के बाहर स्थान अवस्था में क्याटोड निर्णय^३ के रूप में प्रतिष्ठित हुए थे। और बाद में प्रकाश-व्यवस्था^४ विद्युत तथा तापदीप्ति^५ यस्तुजा में से तापान्वित उत्ताजन के द्वारा इलेक्ट्रॉनों का प्राप्त करने का तरीका भी हमें मालूम हो गया। दूसरे पदचान स्वातंत्र्य पदार्थों के आविष्कार से हमें इलेक्ट्रॉनों का प्राप्त करने के नये स्त्रात मिल गये क्योंकि एम बहुत से पदार्थों में से स्वतः ही बीटा निर्णय^६ निष्कृती रहती हैं जो अति तीव्रगामी इलेक्ट्रॉनों का अतिस्थित और कुछ नहीं होती। यह भी प्रमाणित हो गया है कि सभी इलेक्ट्रॉनों में बाह्य के किसी भी प्रकार के उत्पन्न हुए होना बराबर मात्रा का अत्यन्त स्वल्प ऋण-वैद्युतिक आवेश रहता है। गूयानाग^७ में उनकी गति के अध्ययन से हम यह प्रमाणित करने में भी सफल हो गये हैं कि विद्युत के आविष्ट सूक्ष्म कणिकाओं के यांत्रिकीय नियमों का अनुसार जिस प्रकार की गति उनमें होनी चाहिए ठीक वही गति वास्तव में उनकी होती भी है। और वैद्युत जयवा चुम्बकीय क्षेत्र में इन सूक्ष्म कणिकाओं की गति का प्रेक्षण करके हमने उनके द्रव्यमान तथा वैद्युतिक आवेश को भी नाप लिया है, यद्यपि ये दोनों राशियाँ अत्यन्त ही छोटी होती हैं।

धन विद्युत की कणिका मय बनावट का प्रमाण प्राप्त करने में कुछ अधिक समय लगा था। फिर भी भौतिकज्ञ इस परिणाम पर पहुँच गये हैं कि धन विद्युत भी अतिम विद्युत्प्रेषण में सबथा एक-सी छोटी कणिकाओं (प्रोटानों^८) के द्वारा सघटित होती है। यद्यपि प्रोटान का द्रव्यमान भी अत्यन्त छोटा होता है, फिर भी वह इलेक्ट्रॉन की अपेक्षा लगभग दस हजार गुना भारी होता है। इन बातों से धन विद्युत और ऋण विद्युत में अन्तर्गत विसमिता^९ प्रकट होती है। इसके विपरीत प्रोटान के आवेश का निरपेक्ष मान ठीक इलेक्ट्रॉन के आवेश के बराबर होता है किन्तु स्वभावतः ही वह धन चिह्नीय होता है ऋण चिह्नीय नहीं। कुछ समय पहले तक तो प्रायः ही धन विद्युत की मूल-कणिका समझा जाता था। किन्तु धन इलेक्ट्रॉन^{१०} के आविष्कार ने इस विषय में जटिलता उत्पन्न कर दी है। हम आगे चलकर देखेंगे कि सचमुच ही हमें धन विद्युत की ऐसी कणिकाओं का पता चल गया है जिनका द्रव्यमान ठीक इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान के बराबर होता है और जिनका वैद्युत आवेश भी ठीक इलेक्ट्रॉन

1 Electron 2 Discharge tubes 3 Cathode rays 4 Photo electric
5 Incandescent 6 Thermionic emission 7 Radio active 8 β rays
9 Protons 10 Dissymmetry 11 Positive electron

के आवेश के बराबर, किन्तु विपरीत चिह्नीय होता है। ये ही धन इलेक्ट्रान या पाज़ीट्रान^१ हैं। तब धन विद्युत की वास्तविक मूल कणिका कौन-सी है? वह प्राट्रान है या पाज़ीट्रान? या हमें यह समझना चाहिए कि धन विद्युत की मूल-कणिकाएँ दो प्रकार की होती हैं और परस्पर अपरिणाम्य होती हैं? धन इलेक्ट्रान से कुछ ही पहले जिम न्यूट्रान^२ का आविष्कार हुआ था उससे तो ऐसी धारणा हाना समझ है कि प्रोट्रान मौलिक नहीं हैं। वह एक न्यूट्रान के साथ एक पाज़ीट्रान के संयोजन में बनता है। किन्तु आज तो हम यह मानने लगे हैं कि प्राट्रान और न्यूट्रान दोनों एक ही मूल कणिका की दो विभिन्न अवस्थाएँ हैं। जो भी हो, कुछ समय पहले तक तो भौतिकज्ञ सदा प्रोट्रान का ही धन विद्युत की मूल-कणिका मानते थे। इस समय तो यहाँ भी हम इसी दृष्टिकोण का अवलम्बन करेंगे।

यह सच है कि इलेक्ट्रानों और प्रोट्रानों का द्रव्यमान अत्यन्त छोटा होता है। फिर भी वह पूणतः गुरु के बराबर नहीं होता। अतः इलेक्ट्रानों और प्राट्रानों की बहुत बड़ी संख्या का सम्मिलित द्रव्यमान प्रेक्षण-गम्य हो जाता है। इसलिए यह धारणा बहुत आकषक मालूम होती थी कि समस्त भौतिक वस्तुएँ जिनका आवश्यक लक्षण यह है कि उनमें भार और अवस्थितित्व होते हैं अर्थात् द्रव्यमान होना है वे सब अन्तिम विश्लेषण में केवल बहुमस्यक इलेक्ट्रानों और प्राट्रानों के द्वारा ही निर्मित हुई हैं। इस दृष्टिकोण से यह मानना पड़ता है कि तत्त्वा के परमाणु भी जो समस्त भौतिक वस्तुओं के निर्माण के घटक मण्डक हैं, प्रोट्रानों और इलेक्ट्रानों द्वारा ही निर्मित होते हैं और ९२ तरंगों के ९२ प्रकार के विभिन्न परमाणु भी इलेक्ट्रानों और प्राट्रानों के ९२ प्रकार के विभिन्न संयोजनों के ही द्वारा बने हैं।

तब यह प्रश्न उपस्थित होता है कि इलेक्ट्रानों और प्रोट्रानों के ये संयोजन किस प्रकार के होते हैं अर्थात् परमाणुओं के प्रतिरूप^३ बनाने की आवश्यकता प्रतीत होता है। इसके लिए विभिन्न परिकल्पनाएँ प्रस्तावित हुई थी। एक प्रतिरूप जिमका घोषी बहुत भावना मित्र था मगर जे० जे० थॉमसन^४ द्वारा प्रस्तुत किया गया था। वे बड़ी प्रगति भौतिकज्ञ हैं जिनके प्रयत्नों से द्रव्य के मण्डन की यथार्थतापूर्वक समझने में बहुत अधिक गतिप्राप्त मित्र है। इस प्रतिरूप में परमाणु का धन विद्युत की तीनों गणनाओं के रूप में विभिन्न किया गया है जिमके अन्तर्गत् इलेक्ट्रान मनुल्लिख अवस्था में उपस्थित रहते हैं। किन्तु एक दूसरा प्रतिरूप और है जिमने आज में हमका निराश्रित

कर दिया। यह रदरफोर्ड मोडल प्रतिरूप^१ कहलाता है। इनमें परमाणु का मीर मडल के सूक्ष्माकार प्रतिरूप के समान माना गया है जिसमें केन्द्रीय धन विद्युत के आवेश के चारों ओर इलेक्ट्रॉन वैद्युत आकर्षण के कारण परिभ्रमण करते हैं। यह प्रतिरूप सबसे पहले जीनपरा^२ द्वारा प्रस्तुत किया गया था और बाद में जालफा कणिकाजा^३ के द्रव्य के सम्पर्क से उत्पन्न हुए विक्षेप के अध्ययन से इसका सत्यापन हुआ था। यह अध्ययन मुख्यतः लाइ रदरफोर्ड और उनके सहकारियों द्वारा किया गया था और इसमें यह प्रमाणित हो गया कि मीर मडलीय प्रतिरूप की भाँति ही परमाणु का समस्त धन विद्युत भी परमाणु के केन्द्र में अत्यन्त ही छोटे-से आयतन में एकत्र रहता है। इससे प्रकट होता है कि परमाणु के केन्द्र में धन विद्युत से आविष्ट एक कणिका होती है जिसे नाभिक^४ कहते हैं और इस सूर्योपम नाभिक के चारों ओर ग्रहोपम इलेक्ट्रॉन घूर्णनीय वैद्युत बल के प्रभाव में परिभ्रमण करते रहते हैं। प्रत्येक परमाणु के विशेष प्रकार के गुणों का कारण इसी ग्रहोपम इलेक्ट्रॉनों की वह संख्या Z है जो साधारण अवस्था में उस परमाणु में विद्यमान रहती है। सामान्यतः परमाणु का वैद्युत दृष्टि में अनाविष्ट^५ होना यह प्रकट करता है कि जिस परमाणु में Z इलेक्ट्रॉन होंगे उनके नाभिक में धन विद्युत का परिमाण अवश्य ही Z इलेक्ट्रॉनों के आवेश के बराबर, किन्तु विपरीत चिह्नीय होगा। जिस परमाणु में केवल एक ही ग्रहीय इलेक्ट्रॉन रहता है उसके नाभिक में विद्युत का आवेश एक इलेक्ट्रॉन के आवेश के बराबर, किन्तु विपरीत चिह्नीय होना चाहिए। और दूसरे परमाणुओं के नाभिकों में धन विद्युत का परिमाण इसी का अपवर्त्य^६ होना चाहिए। अतः एक इलेक्ट्रॉन वाले परमाणु (हाइड्रोजन परमाणु) के नाभिक का धन विद्युत का मात्रक समाना जा सकता है। यह ठीक वही प्रादान है जिसकी चर्चा हम ऊपर कर चुके हैं। इस प्रकार प्रत्येक परमाणु का एक लक्षक पूर्णांक Z होता है जिसे परमाणु नमंक^७ कहते हैं और इसके द्वारा हम ९२ तत्त्वा का ऐसे स्थिर क्रम में लिख सकते हैं जिसमें परमाणु नमंक क्रमशः १ से ९२ तक बराबर बढ़ता जाय। प्राक्काश्यत तो सम्भावना इसी की अधिक मालूम होती है कि यह क्रम ठीक वही क्रम होगा जिसमें परमाणु भार निरन्तर बढ़ता जाय क्योंकि नाभिक जितना ही अधिक जटिल होगा उतना ही उसका भार भी अधिक होना चाहिए। बहुत-सी घटनाओं के द्वारा विभिन्न तन्त्रों के परमाणु क्रमों अमिदग्न रूप से निश्चित हो गये हैं। ऐसी एक घटना तत्त्वा

1 Rutherford Bohr model 2 Jean Perrin 3 α Particles 4 Nucleus
5 Neutral 6 Multiple 7 Atomic Number

के ऐवम विकिरण स्पेक्ट्रम की समानधर्मी^१ रेखाओं का आवृत्ति विस्तार^२ है। मानक^३ के प्रायोगिक नियमानुसार यह विस्थापन परमाणु-त्रमांक के वर्ग का अनुपाती होता है। कुछ थोड़े से विषयों का छोड़कर वर्तमान परमाणु त्रमांक का यह अम वर्तमान परमाणु भारों के अम से अभिन्न है।

इस तरह परमाणु का ग्रहीय^४ सिद्धांत प्रयोगों के द्वारा समर्थित भी हो गया है। १९१३ के एक सुविख्यात लेख में इस सिद्धान्त के गणितीय रूप का वर्णन करने में भी बाह्य का सफलता प्राप्त हुई जिससे प्रायोगिक स्पेक्ट्रम तथा रक्त^५ स्पेक्ट्रमों की यथातथ प्रागुक्ति सम्भव हो गयी है। किन्तु इन अदभुत परिणामों का प्राप्त करने के लिए बाह्य परमाणु के ग्रहीय प्रतिरूप पर क्वांटम सिद्धांत की पथ प्रदर्शक धारणाओं का उपयोग करना पड़ा था क्योंकि जैसा आगे बताया जायगा चिरप्रतिष्ठित यानिकी तथा विद्युत चुम्बकीय धारणाओं के उपयोग से तो कोई भी अच्छा फल नहीं निकला। इस समय हम बाह्य के सिद्धांत का अध्ययन किसी आगे के परिच्छेद के लिए स्थगित रखेंगे, क्योंकि इस सिद्धान्त का विस्तार विवरण केवल क्वांटम सिद्धांत की सहायता से ही दिया जा सकता है।

४ विकिरण^६

हम अभी बता चुके हैं कि आधुनिक भौतिक विज्ञान ने मुख्यतः १८७० और १९१० के बीच के काल में द्रव्य तथा विद्युत की संरचना के विषय में हमारे ज्ञान का किस प्रकार प्रवर्धित किया है। उनमें हमारे विकिरण-सम्बन्धी ज्ञान की कति किस प्रकार की है इस विषय में भी अब कुछ शब्द कहना उचित जान पड़ता है।

प्रकाश विज्ञान और तरंग सिद्धांत के क्षेत्र का विस्तार कुछ नवीन प्रकार की तरंगों के आविष्कार के द्वारा बहुत बढ गया है। इन तरंगों में और सामान्य तरंगों में भेद अतन्ता ही है कि इनका तरंग-दैर्घ्य अपेक्षाकृत कुछ बड़ा या छोटा होता है। नीचवात तक ये तरंग अज्ञात रहा क्योंकि इनका प्रभाव हमारे नेत्र पर कुछ भी नहीं होता। किन्तु उनके द्वारा कई भौतिक क्रियाएँ सम्पन्न हो सकती हैं यथा, ऊष्मा की उत्पत्ति फोटो चित्रों का अंकन, वैद्युतिक प्रभाव इत्यादि। इन्हीं के द्वारा भौतिकज्ञों ने इनके अस्तित्व को प्रमाणित किया था। ऐसी तरंगों को जिनका स्वरूप तरंग दैर्घ्य थोड़ा छोटा प्रकाश में सबसे अभिन्न है 'विकिरण' का व्यापक नाम दिया गया

ह और ऐना मालूम पड़ता है कि विकिरण के वृहत् परिचार में विभिन्न प्रकार के ममन्त दृश्य प्रकाश केवल एक छोटे से जग म अधिक नहीं है ।

पिछले ५० वर्षों में जो आविष्कार हुए हैं उनकी दृष्टि में आज हम ५० मिमी मीटर से लेकर एक मिलीमीटर के दस सारबेँ भाग (10^{-1} मम०) तक के तरंग दृष्टियों के समस्त विकिरणा में परिचित हो गये हैं । ५० मिमीमीटर से $\frac{1}{100}$ मिमीमीटर तक तो उन दृष्टि तरंगों का विस्तार है जो रेडियो में उपयोगी होने के कारण सुविख्यात हैं । $\frac{1}{100}$ से $\frac{1}{1000}$ मिलीमीटर तक अवरक्त विकिरण होता है जिसका प्रभाव अत्यन्त उत्तापक होता है और $\frac{1}{1000}$ से $\frac{1}{10000}$ मिलीमीटर तक परा-वैद्युत विकिरण होता है जो प्रत्यक्ष रासायनिक और फोटोग्राफी क्रियाएँ उत्पन्न करता है । इसके बाद 'राजन विरणा' अथवा 'एकम विरणा' का विनाश प्रदेग जाता है जो $\frac{1}{10000}$ से प्रायः एक मिलीमीटर के दस करोड़वें भाग (10^{-6} मम०) तक विस्तृत है । और अन्त में इनसे भी छोटे तरंग-दृष्ट्यवाली के तरंग हैं जो अत्यन्त 'वेधनीय' गामा विरणा के रूप में स्वोत्पत्ती पदार्थों में से निकलती हैं ।

यह इस बात का विस्तृत वर्णन करने की आवश्यकता नहीं है कि इतने विनाश और विस्तीर्ण अनुक्रम के विकिरणा का आविष्कार प्रशसनीय प्रयोगों की बहुत लम्बी परम्परा के द्वारा उत्तरात्तर किस प्रकार हुआ था । जिस बात का उल्लेख आवश्यक है वह यह है कि जो तरंगमयी परिवर्तना दृश्य प्रकाश के क्षेत्र में प्रेक्षित तथ्यों के द्वारा इतने चमत्कारी ढंग से सत्यापित हो चुकी थी, वही इन समस्त विकिरणा के लिए भी उतनी ही सत्य प्रमाणित हुई । दृष्टि तरंगों के द्वारा, ऐक्स विरणा के द्वारा, यहाँ तक कि गामा विरणा के द्वारा भी हम ऐसी घटनाओं का प्रेक्षण करने में समर्थ हो गये हैं जो स्पष्टतः तरंगधर्मी हैं (यथा वतन, व्यतिकरण विवर्तन, विमरण) । अब आज इस बात में शका करने का कोई कारण नहीं है कि तरंग सिद्धान्त जय ममन्त प्रकार के विकिरणा के लिए भी उतना ही तथ्यपूर्ण है जितना कि दृश्य प्रकाश के लिए । विभिन्न प्रकार के विकिरणा में भेद केवल तरंग-दैर्घ्य का ही है और उनके गुणों में जो अंतर दिखाई देता है उसका कारण केवल तरंग दृष्ट्य की विभिन्नता ही है । किन्तु यही यह कह देना भी उचित है कि जिस प्रकार तरंगमयी परिवर्तना सभी प्रकार के विकिरणा के लिए समान रूप से उपयोगी हैं उसी प्रकार भौतिक विज्ञान के आधुनिक विकास के इतिहास में सभी विकिरणा के सम्बन्ध में इस परिवर्तना की

1 Infra red 2 Ultra violet 3 Rontgen rays 4 X Rays 5 Penetrating rays

उपयोगिता सामान्य रूप से ही भीमित भी प्रमाणित हुई है। हम देखेंगे कि विकिरण के सम्पूर्ण क्षेत्र में 'फोटॉन' की धारणा के रूप में व्यक्त कणिकामयी परिवर्तना अनिवार्य हो गयी है। और इस अन्तिम बात से यह पूर्णतः मिश्र हो जाता है कि समस्त प्रकार के विकिरण का भौतिक स्वरूप वास्तव में एक-सा ही है।

विभिन्न विकिरणों के आविष्कार और उनके वर्गीकरण के द्वारा तथा उनके स्वरूप की अभिन्नता के प्रमाणित हो जाने से वैज्ञानिक आज से ४० वर्ष पहले भौतिक जगत में दो सख्ता भिन्न सत्ताओं का अस्तित्व मानने के लिए विवश हो गये थे। एक तो द्रव्य—जो परमाणुओं से बना है और जिसके परमाणु स्वयं प्रोटॉन और इलेक्ट्रॉनों के अग्रिम विद्युत की मूल-कणिकाओं के सम्मेलन से बने हैं। दूसरा विकिरण—जिसमें अनेक विभिन्न प्रकार के विकिरण सम्मिलित हैं जिनका स्वरूप बिल्कुल एक-सा है और जिनकी विभिन्नता केवल तरंग-दैर्घ्य के ही कारण होती है। द्रव्य और विकिरण सख्ता स्वतंत्र सत्ताएँ तो हैं क्योंकि द्रव्य के अस्तित्व के लिए किसी विकिरण की आवश्यकता नहीं होती और विकिरण का प्रचरण पूर्णतः रिक्त आकाश में भी सम्भव है। तथापि जब कभी ये दोनों सत्ताएँ साथ-साथ विद्यमान होती हैं तब इनकी पारस्परिक प्रतिक्रियाएँ क्या होती हैं इस प्रश्न का विवेचन भी भौतिक विज्ञान की एक महत्वपूर्ण समस्या है। विकिरण द्वारा द्रव्य पर तथा द्रव्य द्वारा विकिरण पर होनेवाली क्रियाओं के विश्लेषण का प्रयत्न जरूरी है। यह समझना भी आवश्यक है कि द्रव्य विकिरण का अवशोषण अथवा उत्सर्जन किस प्रकार कर सक्ता है। आधुनिक भौतिक विज्ञान में जिस सिद्धान्त ने इन प्रश्नों का सम्पूर्ण और विस्तृत उत्तर देने का प्रयत्न किया है वह है इलेक्ट्रॉन सिद्धान्त। अब उसी के सम्बन्ध में कुछ शब्द कहना आवश्यक है।

५. इलेक्ट्रॉन-सिद्धान्त^१

मैक्सवेल के विद्युत् चुम्बकीय सिद्धान्त से हमें ऐसे समीकरण प्राप्त हुए थे जो माध्य विद्युत् चुम्बकीय क्षेत्रों से संबंधित आवश्यकताओं के और धाराओं के स्थूल दृष्टिकोणों के सम्बन्ध को यथार्थ प्रदर्शित कर देते हैं। ये समीकरण स्थूल-जगतीय प्रयोगों के परिणामों को एक ही वैधानिक पद्धति^१ में संघटित करने से प्राप्त हुए थे। अतः इन क्षेत्रों में इनका मूल्य अमदोश था। किन्तु द्रव्य के अन्तरगत प्रयोगों में और परमाणुओं के अन्तर्गत होनेवाली बहुत घटनाओं के विस्तृत विवरण के लिए और इन चरम द्रव्य-कणों के द्वारा अवगापित और उत्पन्न विकिरण की प्रागुक्ति के लिए भी मैक्सवेल

परमाणु और कणिकाएँ

के समीकरणों के वर्तमान¹ की जड़गत हुई और यह जानिये हुआ कि उन्हें एमा दिया जाय जो परमाणवीय और कणिकीय स्तर पर हानवाली घटनाओं के अध्य-
के लिए भी उपयुक्त हो सके। यह ऊपर से माधारण दिशा में दनवाला किन्तु वा-
म अत्यन्त साहसिक कार्य एच० ए० लारेंटज² ने किया था जिनकी गिनती आज
मैट्रान्तिव भौतिकी के महान निर्माताओं में है।

विद्युत की अमूल्य कणिकीय संरचना का विद्युत चुम्बकीय के समीकरणों
निविष्ट करने की धारणा में ही लारेंटज ने इस कार्य का प्रारम्भ किया। उ-
विद्युत में सूक्ष्म कणिकाओं का अस्तित्व मान लिया। उन्होंने इन कणिकाओं
सामान्य नाम इलेक्ट्रॉन रख दिया और यह धारणा बनायी कि समस्त द्रव्यों की र-
इन्ही कणिकाओं के सम्मेलन के द्वारा होती है। जिस वस्तु का हम विद्युत से जा-
कहते हैं उसमें किसी एक चिह्नवाली विद्युत कणिकाओं की अपेक्षा हमारे चिह्न
वद्युत कणिकाओं की संख्या अधिक होती है। और आणविक³ वस्तु वह होती
जिसमें दोनों प्रकार की विद्युत की कणिकाओं की संख्या बराबर होती है। हम
म्यूॉन अनुभूति के स्तर पर समस्त भौतिक वस्तुओं में विद्यमान वद्युत कणिकाओं की सं-
सदब अत्यंत विचार होती है। इस दृष्टिकोण से किसी चार्ज⁴ में विद्युत धार-
प्रवाह का कारण उस चालन में विद्यमान समस्त इलेक्ट्रॉनों का विस्थापन है। अतः
इलेक्ट्रॉनों का गति-स्वातंत्र्य ही चालनता का कारण ठहरता है। विपरीत इस
विलासिता⁵ के गुण की व्याख्या यह है कि उनमें विद्यमान प्रत्येक इलेक्ट्रॉन का
विस्थापन सन्तुलन-स्थान होता है और वह उस स्थान से बहुत ही घाट-मा विस्था-
हो सकता है। प्रत्येक इलेक्ट्रॉन अपने चारों ओर एक सूक्ष्म विद्युत चुम्बकीय क्षेत्र
क्षेत्र की सृष्टि कर लेता है और हम अपने प्रयोगों से जिन बल क्षेत्रों का प्रेक्षण करते
और जिन्हें मापते हैं वे क्षेत्र के इन्ही विभिन्न इलेक्ट्रॉनों के अत्यंत गुरुत्वपूर्ण सू-
बल क्षणों के अध्यापण⁶ के साम्यिकीय परिणाम होते हैं। ये साम्यिकीय परिण-
बहुधा कुछ सरल नियमों का पालन करते हैं और ये नियम मैक्सवेल के सिद्धान्त के
ही नियम हैं जो प्रत्येक प्रेषित विद्युत आवेश और विद्युत धाराओं से स्थूल बल-क्षेत्रों
सम्बन्ध निर्धारित करते हैं। लारेंटज का सिद्धान्त मैक्सवेल के सिद्धान्त की अप-
अधिक साहसिक है। वह उन सूक्ष्मस्तरगीय विद्युत चुम्बकीय घटनाओं का विवरण

देने का प्रयास करना है जिनके औसत प्रभाव के रूप में व घटनाएँ प्रकट हाना है जिनका हमारा प्रयोगा में प्रेक्षण किया जाता है। तब वह प्रत्येक स्थान पर और प्रत्येक क्षण पर विद्युत् चुम्बकीय क्षेत्रों, आवेशों और धाराओं का निर्णय करने का प्रयास करता है न केवल विविध इलैक्ट्रानों के मध्यवर्ती आकारों में किन्तु इलैक्ट्रानों के अन्तर्गत भी। लॉरेंट्ज ने यह मान लिया कि सूक्ष्म-स्तरीय गतिशास्त्र, बल-क्षेत्र, आवेश और धाराएँ भी ऐसे समीकरणों के द्वारा निर्णीत होती हैं जिनका रूप ठीक मक्सवेल के स्थूल-स्तरीय समीकरणों के समान ही होता है। अन्तर केवल यह होता है कि अब इन समीकरणों के लिए बल क्षेत्रों को उनके अनुपयोगी प्रेरणा¹ से भिन्न मानना उचित नहीं है और आवेशों और धाराओं को विद्युत् की संरचना² के ही फलन³ के रूप में व्यवहार करना होगा। यह प्रमाणित किया जा सकता है कि मूल सूक्ष्म-स्तरीय घटनाओं का औसत निकालने पर लॉरेंट्ज के समीकरण मैक्सवेल के समीकरणों में परिणत हो जाते हैं और साथ ही साथ बल-क्षेत्रों और प्रेरणा की विभिन्नता की भी व्याख्या हो जाती है। इस प्रकार मैक्सवेल का विद्युत् चुम्बकत्व "स्थूल" विद्युत् चुम्बकत्व प्रतीत होने लगता है जो लॉरेंट्ज के 'सूक्ष्म' विद्युत् चुम्बकत्व का औसत लेने पर प्राप्त होता है। जिन बातों की रूपरेखा ऊपर बतायी गयी है उनके आधार पर निम्न इलैक्ट्रान सिद्धान्त का बहुत-सी घटनाओं की प्रागुक्ति करने में महत्वपूर्ण सफलता प्राप्त हुई है। प्रथम तो वण विक्षेपण⁴ के नियमों की व्याख्या के पूर्ववर्ती सिद्धान्तों के द्वारा हो चुकी थी उनकी व्याख्या इस सिद्धान्त के द्वारा भी हो गयी। इसके बाद निम्नलिखित इसकी सबसे महत्वपूर्ण सफलता यह थी कि इसके द्वारा सामान्य जीमान प्रभावों का यथावत प्रागुक्ति भी संभव हो गयी अर्थात् हम यह समझ सके कि सरलतम रूप में परमाणु द्वारा उत्सर्जित स्पेक्ट्रमीय रेखाओं पर सामान्य चुम्बकीय क्षेत्रों का किस प्रकार का प्रभाव पड़ता है। स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की आवृत्ति पर चुम्बकीय क्षेत्रों के इस प्रकार का प्रमाणित आविष्कार से इलैक्ट्रान सिद्धान्त का पूर्ण रूप में सत्यापन हो गया है और आनुत्ति-परिचय के परिमाणों का मापकर यह प्रमाणित किया जा सकता है कि विद्युत् गतिशील गणिताओं का हम स्पेक्ट्रमीय उत्सर्जन से सम्बन्ध है ये श्रेष्ठ इलैक्ट्रान हैं और इस प्रकार द्रव्य के अन्तर्गत में इन इलैक्ट्रानों का अस्तित्व भी प्रमाणित हो जाता है। हम बातें लॉरेंट्ज के सिद्धान्त का वास्तव में बड़ी गहराई में ली है और हमें सामान्यतः उन सब घटनाओं की ही व्याख्या हो गयी है जिनमें किसी बल

या चुम्बकीय क्षेत्र के कारण प्रकाश के उत्सर्जन, प्रचरण और अवशोषण के माध्यम से प्रतिबन्धों में परिवर्तन हो जाता है। उदाहरण के लिए वस्तु ध्रुवन¹ की चुम्बकीय घटना है (फरडे प्रभाव)² जो लॉरेंट्ज के सिद्धांत की दृष्टि से उत्तम³ जीमान प्रभाव समझा जा सकता है। विद्युत और चुम्बकीय द्विवर्तन⁴ भी ऐसी ही घटनाएँ हैं। वस्तु विद्युत प्रावाणिकी⁵ तथा चुम्बक प्रावाणिकी⁶ के सम्पूर्ण क्षेत्र में लॉरेंट्ज के सिद्धान्त ने बहुत बड़ी सेवाएँ की हैं। ऐसा भी प्रतीत होने लगा था कि 'द्रव्य में से विकिरण का उत्सर्जन कैसे होता है?' इस और भी अधिक महत्वपूर्ण समस्या का समाधान भी इलेक्ट्रॉन सिद्धान्त से हो जायगा। लॉरेंट्ज के समीकरणों के अनुसार जब इलेक्ट्रॉन सरल रेखा में अचर वेग से गमन करता है तब उसके साथ-साथ उसका विद्युत-चुम्बकीय क्षेत्र भी ज्या-का-त्या-मतत चलता रहता है। अतः इस दशा में प्राव-वर्ती आकाश में ऊर्जा का उत्सर्जन नहीं होता। किन्तु यदि इलेक्ट्रॉन की गति में कुछ त्वरण⁷ उत्पन्न हो जाय तो यह प्रमाणित किया जा सकता है कि उसमें से विद्युत् चुम्बकीय उत्सर्जन होगा और इस प्रकार इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा में प्रतिक्षण जा ह्रास होगा वह उसके त्वरण के वेग का अनुपाती होगा। प्रत्यावर्ती धारा⁸ अथवा इलेक्ट्रॉनों की आवर्तगति का ही परिणाम है। इसलिए यह तुरन्त समझ में आ जाता है कि ऐसी विद्युत् धारा से ऊर्जा का उत्सर्जन क्या संभव है। इस प्रकार रेडियो के एरियल⁹ के समान खुले परिपथ में जो प्रत्यावर्ती धाराएँ प्रवाहित होती हैं उनसे हट-जोय तरंगों के उत्सर्जन की भी व्याख्या हो जाती है। फलतः हट-जोय तरंगों के उत्सर्जन का सिद्धान्त भी हम मैक्सवेल के समीकरणों में पुनः प्राप्त हो जाता है। किन्तु अकेले एक इलेक्ट्रॉन का त्वरित गति के कारण जा तरंग उत्सर्जित होती है उसका परिकल्पन करके इलेक्ट्रॉन सिद्धान्त द्रव्य में से विकिरण के उत्सर्जन का एक सूक्ष्म स्तरीय प्रतिरूप प्रस्तुत कर देता है। अतः सिद्धान्त यह समझना भी संभव हो जाना चाहिए कि परमाणवीय स्तर पर विद्युत्-चुम्बकीय तरंगें कैसे उत्पन्न होती हैं। उदाहरण के लिए यह प्रमाणित करना भी संभव होना चाहिए कि किसी भी परमाणु में से उत्सर्जित स्पेक्ट्रम उसी परमाणु में विद्यमान इलेक्ट्रॉनों की गति का परिणाम होता है। अभी ध्यान दें हम दावेगे कि इस योजना के सफल होने में क्या-क्या कठिनाइयाँ उपस्थित हुई थीं। किन्तु प्रारम्भ में तो ऐसा ही जान पड़ा कि इस 'त्वरण-जनित तरंग' के सिद्धान्त के द्वारा

1 Circular polarization 2 Faraday effect 3 Inverse 4 Birefringence
5 Electro-optics 6 Magneto-optics 7 Acceleration 8 Alternating current
9 Periodic motion 10 Antenna

द्रव्य में ग विविरण के उत्सर्जन की समस्या का पूर्ण रूप में स्पष्टीकरण हो जाता। और इस मन के पक्ष में यह प्रमाण भी बड़ा प्रबल प्रतीत हुआ कि ऐसी विविरणें तभी प्रत्यक्ष हानी हैं जब किसी ठोस प्रतिवर्थाड¹ में टकरा ग्राकर कोई इलेक्ट्रॉन जली स र जाता है।

किन्तु इलेक्ट्रॉन सिद्धान्त का ऐमा चमत्कारिक प्रारम्भ होने पर भी वह न्यून परमाणु-स्तरीय गुणा का कारण निश्चित करने के लिए पर्याप्त प्रमाणित नहीं हुआ। हम देखेंगे कि लॉरेंट्ज के समीकरणों के द्वारा द्रव्य और विविरण के ऊष्मा-गतिकीय² सन्तुलन का अध्ययन में ऐसी कठिनाइयाँ उत्पन्न हुई थी जिनका निराकरण केवल क्वांटम सिद्धांत की त्रिलकुल नयी धारणाओं के सन्निवेशन के द्वारा ही सम्भव हुआ था। इसके अतिरिक्त यदि हम परमाणुओं के विविरण का कारण उनके आन्तरिक इलेक्ट्रॉनों का ही मानने का प्रयास करें तो यह भी स्वीकार करना पड़ेगा कि प्रकृत अवस्था में परमाणु के भीतर के इलेक्ट्रॉन गतिविहीन होने हैं। अर्थात् यदि व परमाणु के अन्तर्गत अत्यन्त छोटे-से प्रदक्ष में गमन करने के लिए बाध्य हो ता यह आवश्यक होगा कि उनकी गति में अत्यधिक त्वरण भी विद्यमान हो और तब के विविरण के रूप में निरन्तर ऊर्जा का उत्सर्जन भी करते रहेंगे। किन्तु यह बात तो परमाणु के स्थायित्व की धारणा के ही विपरीत है। हम पहले ही देख चुके हैं कि हमारे परमाणु-सम्बन्धी ज्ञान का प्रगति से हमें परमाणु संरचना के लिए ऐसे ग्रहीय³ प्रतिरूप को स्वीकार करना पड़ा है जिसमें ग्रह-स्थानीय इलेक्ट्रॉन निरन्तर दांडत ही रहने ह। अतः परमाणु की स्थायी अवस्था के अस्तित्व में और त्वरण जनित तरंग के सिद्धान्त में प्रत्यक्ष ही धार विपक्ष है। इस समस्या का निराकरण भी (बोह्र के सिद्धान्त में) क्वांटम धारणाओं के सन्निवेशन में ही हो सका है।

इन प्रकार इन थोड़े से उदाहरणों से, जिनकी सख्या और भी बढ़ायी जा सकती है हम देख सकते हैं कि विद्युत की जसतत् संरचना का सहारा लेकर लॉरेंट्ज ने जिस विद्युत चुम्बकीय सिद्धांत को पल्लविन किया और परिपूर्ण बनाया वह बहुत-सी घटनाओं की व्याख्या करने में तो विफल रूप से समर्थ हुआ, किन्तु मूल चिरप्रतिष्ठित मायताओं से सवथा भिन्न प्रकार की नवीन धारणाओं की सहायता के बिना पारमाण्विक क्षेत्र में प्रायोगिक तथ्यों को समझने की जगभवता ने उसके सामने एक अलघ्व दीवार खड़ी कर दी।

चौथा परिच्छेद

आपेक्षिकता का सिद्धान्त^१

१ आपेक्षिकता का नियम^२

आपेक्षिकता के सिद्धांत के विषय में कम से कम एक छोटा सा परिच्छेद लिए बिना क्वांटम-मैक्सवेलीय ज्ञान के विकास का अध्ययन प्रारम्भ करना असंभव है। आपेक्षिकता और क्वांटम ये दोनों ही आधुनिक सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान के स्तम्भ हैं और यद्यपि इस पुस्तक में हम अपना ध्यान मुख्यतः द्वितीय स्तम्भ पर ही केंद्रित करना चाहते हैं फिर भी प्रथम के विषय में मर्यादा भी नहीं रह सकती।

आपेक्षिकता सिद्धांत के विकास का प्रारम्भ गतिशील माध्यमा से सम्बन्धित प्रकाश विज्ञानिक तथ्या के अध्ययन से हुआ था। हम देख चुके हैं कि फ़्लेमिंघ की प्रकाश-सम्बन्धी धारणा में ऐम ईथर का अस्तित्व माना गया था जो सम्पूर्ण ब्रह्मांड में व्याप्त है और समस्त वस्तुओं के अन्तर्गत में भी भरा हुआ है तथा जो प्रकाश-तरंगों के लिए वाहन का कार्य करता है। मैक्सवेल के सिद्धांत ने इस ईथर के महत्त्व का कुछ कम कर दिया था क्योंकि इस सिद्धांत में यह आवश्यक नहीं रह गया था कि प्रकाश-तरंगों का किसी विशेष द्रव्य का कंपन समझा जाय। उसमें यह मान लिया गया था कि प्रकाश-तरंग विद्युत-चुम्बकीय द्रिष्ट रागिया^३ के द्वारा अविकल्पित निर्णीत हो सकती हैं। विद्युत-चुम्बकीय नियमों का यांत्रिक आधार खोजने के जितने भी प्रयत्न किये गये उनमें कोई भी सन्तोषजनक फल प्राप्त नहीं हुआ। इस कारण अंत में मैक्सवेल के सिद्धांत के बल-क्षेत्रों का ही ऐसी प्राथमिक अथवा मूल सत्ताएं समझ लियी गयी जिनका यांत्रिक प्रतिरूपा के द्वारा स्पष्टीकरण करने का प्रयत्न व्यर्थ समझा गया। इसके पश्चात् विद्युत-चुम्बकीय सिद्धांत के लिए किसी सम्पन्नशील प्रत्यास्थ^४ ईथर की आवश्यकता नहीं रह गयी और ऐसा मालूम होने लगा कि मैक्सवेल के उत्तरा-

धिया किया के लिए ईयर की धारणा विप्लवाजन हो गयी है। किन्तु वास्तव में ऐसा न हो
 हुआ और मैक्सवेल के धारण के आधार पर ग्राति का, विशेषतः लार्ड स्ट्रान्ग का उसका स्मरण बल
 रहना पड़ा। ऐसा क्या हुआ? इसका कारण यह था कि मैक्सवेल के विद्युत चुम्बकीय
 समीकरण यात्रिक आपणितता¹ के सिद्धान्त में मान सिद्ध नहीं हुए। अर्थात् यदि
 वे किसी एक निर्देशाक्ष-तन्त्र² की अपेक्षा मत्त हों तो वे किसी ऐसे दूसरे निर्देशाक्ष
 तन्त्र की अपेक्षा मत्त नहीं रहने जिसमें पहले तन्त्र की अपेक्षा सरल रेखात्मक और
 अक्षर वेगवाणी गति विद्यमान है—यह न कि उम उम अवस्था में जब कि यह मान
 लिया जाय कि प्रथम तन्त्र से द्वितीय में पहुँचने के लिए निर्देशाक्ष का रूपांतरण³
 उन्ही नियमों के अनुसार किया जायगा जिन्हें अनुसार चिरप्रतिष्ठित यात्रिकों में सत्ता
 से हाता आया है। चिरप्रतिष्ठित यात्रिकों में तो यस्तुन ऐसे निरपेक्ष काल की सत्ता
 की मान लिया गया था जो सभी प्रेक्षकों के लिए और समस्त निर्देशाक्ष-तन्त्रों के लिए
 समान रूप में मत्त हो। इसके अतिरिक्त यह भी मान लिया गया था कि दो बिन्दुओं
 के बीच की आनादीय दूरी (दिगंतराल) की भी उसी ही निरपेक्ष सत्ता है और
 उन बिन्दुओं का स्थान निर्णीत करने के लिए जितने भी निर्देशाक्ष-तन्त्र सम्भव हों
 उन सब में उस दूरी का मान बराबर ही रहना है। इन्हीं दोनो नियमों के द्वारा
 जिनका स्वीकार करना इतना स्वाभाविक जान पड़ता है वे सरल और चिरप्रतिष्ठित
 सूत्र तुरन्त प्राप्त हो गये जिनकी सहायता से एक निर्देशाक्ष-तन्त्र से चलकर उसकी
 अपेक्षा अक्षर वेग में सरल रेखा पर स्थानान्तरित होनेवाले दूसरे तन्त्र में पहुँचने
 के लिए निर्देशाक्ष का रूपांतरण किया जाता है। गलीलीय रूपांतरण इन्हीं सूत्रों
 के द्वारा निर्दिष्ट होता है। चिरप्रतिष्ठित यात्रिकों का यह एक मूल प्रमेय है कि
 यात्रिकीय समीकरण गलीलीय रूपांतरण के प्रति निश्चर⁴ रहते हैं। यदि एक
 निर्देशाक्ष-तन्त्र में दूसरे निर्देशाक्ष-तन्त्र में सन्मरण करने के लिए गलीलीय रूपांतरण
 की मत्तता मान ली जाय तो यन्त्र के जो समीकरण अक्षर तत्त्व-समूह से निबद्ध
 निर्देशाक्ष-तन्त्र में मत्त हैं वे अज किसी ऐसे निर्देशाक्ष-तन्त्र में भी सत्य रहेंगे जो अक्षर
 तन्त्रों की अपेक्षा सरल रेखा में अक्षर वेग से स्थानान्तरित हो रहा हो। विपरीत
 इसके, मैक्सवेल और लार्ड स्ट्रान्ग के समीकरण जिनका रूप चिरप्रतिष्ठित यात्रिकों के
 समीकरणों से बहुत भिन्न होता है गलीलीय रूपांतरण की अपेक्षा निश्चर नहीं रहते।
 इससे यही परिणाम निकलता है कि यदि मैक्सवेल के समीकरण किसी विशेष निर्देशाक्ष

1 Mechanical relativity 2 System of Coordinates 3 Transformation

4 Invariant

तब की अपक्षा सत्य है ता व ऊपर की अपक्षा अचर बग से सरल गति में गमन करने वाला दूसरे निर्देशाक्ष-तंत्र की अपक्षा सत्य नहीं रहता। जहाँ मगर काम में प्रसार होना है माना जगत् में कोई सामान्य निर्देशाक्ष-माध्यम^१ विद्यमान है और बस उसी माध्यम में अवस्थित निर्देशाक्ष-तंत्र की अपक्षा ही विद्युत् चुम्बकीय समीकरण सत्य होंगे। मैक्सवेल के उत्तराधिकारियों ने इसी निर्देशाक्ष-माध्यम का नाम ईथर रख दिया था। उनके लिए ईथर वह प्रत्यास्थ माध्यम नहीं था जिसमें धाँडा-सा प्रसार भी माना जाता था और जिसमें प्रकाश-तरंगों का प्रचरण करने की सामर्थ्य थी। वह तो अब एक निरन्तर और सापेक्षिक माध्यम के अतिरिक्त और कुछ भी नहीं रह गया था जिसका काय केवल इतना ही था कि ऐसे निर्देशाक्ष-तंत्र का छाटकर उल्टा कर दे जिसकी अपक्षा मैक्सवेल-समीकरण यथाथ समझे जा सकें।^२

हम देख चुके हैं कि इस सीमित भूमिका में भी ईथर की धारणा काफी कष्टदायक प्रमाणित हुई है। मैक्सवेल सिद्धान्त के अनुसार प्रकाश की प्रेषित घटनाओं पर प्रेक्षक की ईथर-आपक्षा गति का सचमुच ही कुछ प्रभाव पड़ना चाहिए। और भौतिकी के लिए यह संभव होना चाहिए कि प्रकाश प्रचरण सम्बन्धी प्रेक्षणा के द्वारा वह यह मालूम कर सके कि ईथर की अपक्षा उसका (प्रेक्षक का) अपना बग कितना है। यदि ऐसा हो सके तो इस रहस्यमय सत्ता का अवश्य ही थोड़ा-बहुत द्रव्यत्व प्राप्त हो जायगा। यथायथा के लिए यह मानना ही पड़ेगा कि जो पार्थिव भौतिकी अपनी प्रयोगशाला में बैठकर प्रयोग करता है वह पृथ्वी के साथ-साथ बड़े वेग से सूर्य की परिभ्रमण करता रहता है और पृथ्वी की यह गति लगभग वृत्ताकार होने के कारण उसके बग की दिशा भी प्रायः छ महीना के बाद बिल्कुल उलट जाती है। अतः यदि किसी दुःसमाध्य दैव्याय स किसी समय उसे यह मालूम पड़े कि वह ईथर की अपक्षा अचल है तो कुछ ही सप्ताहों या महीनों के बाद वह अवश्य ही ईथर की अपक्षा तीव्र बग से चलने लगगा। अतः जब भर में विभिन्न समयों पर कई प्रयोग करके पृथ्वी की ईथर-आपक्षा गति का पता लगा लेना अवश्य ही संभव होना चाहिए। मित्तु १९ वीं शताब्दी के वैज्ञानिकों ने

१ Medium of reference

^१ यहाँ यह कहना उचित जान पड़ता है कि हाल में डा. टिरैंक (Dirac) का कार्य पदार्थ गतिकी (Electro-dynamics) के बड़ाया सिद्धान्त के सम्बन्ध में ईथर की धारणा के पक्ष में ही आवश्यकता प्रतीत हुई है। उनके मत में आकाश और बालू के प्रसार विचारों को ही अपना विद्युत् के आने का अभाव होने पर भी एक आपुणिक बग होना है।
^२ जो किसी दार्शनिक भौतिकी के लिए (ईथर) का बग हो समझना चाहिये।

जिनने भी प्रकाशीय प्रयोग किये उनमें से किसी के द्वारा भी पृथ्वी की ईथर-मापक गति के प्रभाव का पता नहीं चल सका, यद्यपि ये प्रयोग बहुत ही विभिन्न प्रकार के थे और अत्यन्त यथायत्तापूर्ण रीति से किये गये थे। फिर भी दीर्घकाल तक यह अमर्याद चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त से असंगत नहीं समझी गयी क्योंकि इन सिद्धान्तों के अनुसार जिन प्रभावा के प्रेक्षण की आशा की जा सकती थी वे असाधारणतः सूक्ष्म थे और अत्यन्त यथायत्तापूर्ण प्रयोगों से जिन प्रभावा का प्रेक्षण सम्भव हो सकता था उनसे भी आसन्न स्वल्प थे। वस्तुतः यह प्रमाणित किया जा सकता है कि प्रेक्षक की ईथर-सापेक्ष गति के कारण जो प्रभाव सम्भव हो वे प्रेक्षक के ईथर-मापक वेग और प्रकाश के गून्पाका कारण वेग के अनुपात के वर्ग के अनुपाती होते हैं। इस अनुपात के सबब अत्यन्त छोटे प्रभावों के कारण अपेक्षित प्रभाव भी अत्यन्त दुर्बल होते हैं। किन्तु प्रायोगिक कौशल के अनन्तर प्रगति का परिणाम यह हुआ कि वह समय भी आ गया जब कि व्यतिकरण के प्रयोगों के द्वारा प्रयोगकर्त्ताओं ने उस काटि की सूक्ष्म राशियाँ के प्रेक्षण की क्षमता में प्राप्ति कर ली जिस कोटि के सूक्ष्म प्रभाव सिद्धान्त के अनुसार प्रेक्षक की ईथर-सापेक्ष गति के कारण सम्भव समझे जा सकते हैं। तिस पर भी प्रयोग का परिणाम नकारात्मक ही निकला और जिन सिद्धान्तों के अनुसार प्रागुक्त प्रभावा को निस्सन्देह बहुत छोटा होना पर भी अब नाप लेना सम्भव हो गया था उनका कुछ भी पता न चल सका। ईथर अपेक्ष भी अलक्षित ही बना रहा और अब तो चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त से घोर विषय स्पष्ट हो गया। यही वह दूरगामी परिणाम था जो १८८१ में माइकेल्सन^१ के सुविधायी प्रयोग से और कुछ समय बाद इसी की माइकेल्सन और मारले^२ द्वारा की गयी पुनरावृत्ति के द्वारा निकला था। और वे दूसरे प्रयोग भी माइकेल्सन के प्रयोग के समान ही असफल रहे जिनसे प्रकाशीय प्रभावा के स्थान में विद्युत् चुम्बकीय प्रभावा के द्वारा पृथ्वी की ईथर-सापेक्ष गति का पता लग जाना चाहिए था (यथा ट्राउटन और नोबल^३ का प्रयोग)।

स्वभावतः ही माइकेल्सन के प्रयोग के नकारात्मक परिणाम के साथ प्रचलित सिद्धान्तों का मागल्य स्थापित करने के अनेक प्रयत्न किये गये। विशेषतः फिट्जजिरेल्^४ और 'गेरट्ज'^५ ने यह धारणा प्रस्तुत की कि जब भौतिक वस्तुएँ ईथर में गमन करती हैं तो उनका कुछ 'जाकुचन' हो जाता है जिसमें गमन की दिशा में तो उनकी लम्बाई घट जाती है किन्तु उसमें अनुप्रस्थ दिशा की लम्बाई अपरिवर्तित रहती है और इस

१ Michelson २ Michelson and Morley ३ Trouton and Noble ४ Fitzgerald and Lorentz ५ Contraction

आनुचन का ही यह परिणाम होता है कि उस गति के कारण प्रमाण प्रचरण पर जो प्रभाव पड़ना चाहिए था उसका विलकुट पूरी तरह प्रतीकार^१ हो जाता है। किन्तु प्रत्यक्ष है कि यह चतुर परिष्कारना पूरित वृत्रिम थी जोर जगत्पन्था का टटन व ही लिए बनायी हुई मातृम देती थी। यह विदित है कि १९०५ में गेल्ल्ट आइन्स्टाइन के प्रगमनीय बौद्धिक प्रयाम के द्वारा ही इस समस्या का यथाथ समाधान प्राप्त हुआ था।

‘प्रकाशीय अवयव विद्युत चुम्बकीय प्रयोगों के द्वारा निम्नी प्रत्यक्ष बीड अन्वेषण अचर वगवाली गति के प्रेक्षण की सभावना भव्यन्त और लारेंटज के सिद्धान्त में निहित है।’ इस धारणा का मूल कारण यह था कि यह मान पट्ट से ही मान ली गयी थी कि जब एक निर्दोषाभ-नत्र से दूसरे ऐसे तन्त्र में सन्मण किया जाता है जिसमें पहले तन्त्र की अपक्षा अचर वगवाली मरल रखात्मक गति हो तन्त्र दाना तन्त्रा के निर्दोषाभ गलीलीय रूपांतरण के सूत्रा के द्वारा परस्पर सम्बद्ध रहते हैं। मस्तबल-लारेंटज समीकरण गलीलीय रूपांतरण के प्रति निश्चर नहीं रहते और हम देख चुके हैं कि इसी कारण पृथ्वी की इधर माप्य गति के प्रेक्षण की सभावना उत्पन्न होती है। किन्तु प्रायोगिक तथ्या के द्वारा इसका सत्यापन नहीं हुआ। परन्तु विद्युत चुम्बकत्व के समीकरणा के गणितीय अध्ययन के द्वारा लारेंटज ने दगा कि यद्यपि ये समीकरण गलीलीय रूपांतरण के प्रति निश्चर नहीं रहते तथापि गलीलीय रूपांतरण से कुछ अधिक जटिल एक और रतिक^२ रूपांतरण है जिसमें ये समीकरण अविचल रहते हैं। यह आजगद लारेंटज रूपांतरण कहलाता है। प्रारम्भ में तो यह केवल गणितीय कौतुक मान ही दिया गया और ऐसा नहीं जान पड़ा कि लारेंटज रूपांतरण का कोई स्पष्ट भौतिक अर्थ भी हो सकता है। किन्तु आइन्स्टाइन की प्रतिभापूण धारणा का एक पक्ष यह भी था कि उन्होंने यह मान लिया कि अयाय-मापक्ष अचर-वेगीय स्थानांतरण की गतिवाले दा प्रेक्षक जिन निर्देशांका का उपयोग करते हैं उनमें सचमुच ही कुछ भौतिक सम्बन्ध होता है और लारेंटज रूपांतरण इसी भौतिक सम्बन्ध का यथाथ निरूपण करता है (यह सचमुच उस अवस्था में जहाँ दोना ही प्रक्षका का स्थानांतरण अचल नभन समुदाय की अपक्षा अचर वेगीय है)। अतः इस प्रमाण में गलीलीय रूपांतरण के स्थान में लारेंटज रूपांतरण ही भौतिक दृष्टि से यथाथ हो सकता है। और विद्युत चुम्बकत्व के समीकरणों के लारेंटज रूपांतरण के प्रति निश्चर होने के कारण यह भी परिणाम निकलता है कि अयाय-मापक्ष अचर वगवाली दा

जिने भी प्रयोगीय प्रयोग किये जायेंगे वे प्रयोगों के द्वारा भी पृथ्वी की ईथर-आपेक्ष गति के प्रभाव का पता नहीं चल सकेगा, यद्यपि ये प्रयोग बहुत ही विभिन्न प्रकार के होंगे अतः यथायथापूर्ण रीति से किये गये होंगे। फिर भी दीर्घकाल तक यह अमर्याद चिरप्रतिष्ठित सिद्धांत ने जगत् नहीं गमभी गयी क्योंकि इन सिद्धांतों के अनुसार जिन प्रभावों का प्रमाण की आशा की जा सकती थी वह असाध्यमान्य मूल्य के और अत्यंत यथायथापूर्ण प्रयोगों से जिन प्रभावों का प्रमाण संभव हो सकता था उनमें भी अति स्थूल थे। यन्तुत यह प्रमाणित किया जा सकता है कि प्रेक्षक की ईथर-आपेक्ष गति के कारण जो प्रभाव संभव हो सकते हैं प्रेक्षक के ईथर-आपेक्ष वेग और प्रकाश के गत्याकाशीय वेग के अनुपात के वेग के अनुपातों द्वारा हैं। इन अनुपातों के सदैव अत्यंत छोटें होने के कारण अपेक्षित प्रभाव भी अत्यंत दुर्बल होते हैं। किन्तु प्रायोगिक कौशल का अनवरत प्रगति का परिणाम यह हुआ कि वह समय भी आ गया जब कि ध्वनिचरण के प्रयोगों के द्वारा प्रमाणनताओं में उन कठिनीयों की सूक्ष्म राशियों के प्रेक्षण की शक्ति भी प्राप्त हो गयी जिसे कोटि के सूक्ष्म प्रभाव सिद्धांत के अनुसार प्रेक्षक की ईथर-आपेक्ष गति के कारण संभव समझे जा सकते हैं। तब पर भी प्रयोगों का परिणाम नकारात्मक ही निकला और जिन सिद्धांतों के अनुसार प्रागुक्त प्रभावों को निस्सन्देह बहुत छोटे होने पर भी अब नाप लेना संभव हो गया था उनका कुछ भी पता न चल सका। ईथर अब भी अलक्षित ही बना रहा और अब तो चिरप्रतिष्ठित सिद्धांत से घोर विपक्ष स्पष्ट ही हो गया। यही वह दूरगामी परिणाम था जो १८८१ में माइकेल्सन^१ के सुविख्यात प्रयोगों में और कुछ समय बाद इसी की माइकेल्सन और मॉरले^२ द्वारा की गयी पुनरावृत्ति के द्वारा निकला था। और व दूसरे प्रयोगों में माइकेल्सन के प्रयोगों के समान ही असफल रहे जिनमें अकाशीय प्रभावों के स्थान में विद्युत चुम्बकीय प्रभावों के द्वारा पृथ्वी की ईथर-आपेक्ष गति का पता लग जाना चाहिए था (यथा ट्राउटन और माबल^३ का प्रयोग)।

स्वभावतः ही माइकेल्सन के प्रयोगों के नकारात्मक परिणामों के साथ प्रचलित सिद्धांतों का मागत्य स्थापित करने के अनेक प्रयत्न किये गये। विशेषतः फिट्ज़जिग^४ और लोरेंट्ज ने यह धारणा प्रस्तुत की कि जब भौतिक वस्तुएँ ईथर में गमन करती हैं तो उनका कुछ आकुंचन^५ हो जाता है जिससे गमन की दिशा में तो उनकी लम्बाई घट जाती है किन्तु उससे अनप्रत्यक्ष दिशा की लम्बाई अपरिवर्तित रहती है और इस

१ Michelson २ Michelson and Morley ३ Trouton and Noble ४ Fitzgerald and Lorentz ५ Contraction

आवृत्त का ही यह परिणाम होता है कि उस गति के कारण प्रकाश प्रचरण पर जो प्रभाव पटना चाहिए था उनका त्रिलुप्त पूरी तरह प्रतीकार' हो जाता है। निम्नु प्रत्यक्ष है कि यह चतुर परिगल्यना पूणत वृत्रिम थी और जमफरता का ढरने व ही लिए बनायी हुई मालूम दती था। यह विदित है कि १९०५ मे गेग्वट आइन्स्टाइन' के प्रगमनीय वीदित प्रयाम व द्वारा ही इस ममस्या का यथाथ समाधान प्राप्त हुआ था।

‘प्रकाशीय अथवा विद्युत चुम्बकीय प्रयागा के द्वारा निमी प्रभय कीर अर-मापय अचर वगवाली गति व प्रभण की सभावना मकमल और गगंटज के सिद्धान्त मे निहित है।’ इस धारणा का मूल कारण यह था कि यह वान पहले से ही मान ली गयी थी कि जब एक निर्देशाभ-नन से दूसरे ऐसे तन मे मन्मण किया जाता ह जिसमे पहले तन की अपथा अचर वगवाली सरल रत्यामक गति हो तन दाना तना व निर्देशाभ गलीलीय र्पातरण के सूत्रा के द्वारा परस्पर सम्बद्ध रहत ह। मकमबल-लारटज समीकरण गलीलीय र्पातरण व प्रति निश्चर नही रहत और हम देख चुक ह कि इसी कारण पथी की इयर-सापक्ष गति के प्रेक्षण की सभावना उत्पन हानी है। किन्तु प्रायोगिक तथ्या के द्वारा इसका मत्यापन नही हुआ। परन्तु विद्युत चुम्बकत्व के समीकरणा क गणितीय अध्ययन के द्वारा लारटज न देगा कि यद्यपि य समीकरण गलीलीय र्पातरण के प्रति निश्चर नही रहत तथापि गलीलीय र्पातरण से कुछ अधिक जटिल एक और रलिक' र्पातरण है जिसमे ये समीकरण अविल रहते ह। यह आजकल लारटज र्पातरण कहलाता ह। प्रारम्भ मे ता यह वल गणितीय कौतुक मान ही दियाई दिया और ऐसा नही जान पडा कि लारटज र्पा-न्तरण का काई स्पष्ट भौतिक अय भी हो सकता ह। किन्तु आइन्स्टाइन की प्रतिभापूण धारणा का एक पक्ष यह भी था कि उन्होंने यह मान लिया कि अयाय-मापक्ष अचर वगीय स्थानातरण की गतिवाले दा प्रक्षन जिन निर्देशाका का उपयोग करत ह उनमे सचमुच ही कुछ भौतिक सम्ब ब हाता ह और लारटज र्पातरण इसी भौतिक सम्ब व का यथाथ निरूपण करता ह (कम से कम उस अवस्था मे जय दोना ही प्रेक्षका का स्थानातरण अचल नभत्र समदाय की अपक्षा अचर-वगीय हो)। जत इस प्रमग में गलीलीय र्पातरण व स्थान में लारटज र्पातरण ही भौतिक दष्टि स यथाथ हो सकता ह। और विद्युत चुम्बकत्व के समीकरणा के लारटज र्पातरण के प्रति निश्चर हान क कारण यह भी परिणाम निनलता ह कि अयाय-मापक्ष अचर वगवाले दा

प्रेक्षण के लिए इन मयीकरण या रूप विलकुल एक-आ ही जाता है। अब उन दो प्रयोगों का समस्त प्रकाशीय और विद्युत चुम्बकीय घटनाएँ भी विलकुल एक-सी ही मालूम होंगी और यह जममम होता है कि किसी भी घटना से कोई भी प्रेक्षक अपना ईयर-सापन गति का पता चगा सके। फलतः माइवेल्सन के प्रयोग तथा ईयर-सापन पथों के वेग को मापन के अन्य प्रयोगों का नकारात्मक परिणाम पूर्णतः स्वाभाविक हो जाता है। विपरीततः यदि समस्त प्रकाशीय और विद्युत चुम्बकीय घटनाओं को "आपत्ति" मूल सिद्धांत के रूप में उम्मी प्रसार स्वीकार कर ली जाय जिस प्रकार चिरप्रतिष्ठित यात्रिकों में यात्रिक घटनाओं को आपत्ति स्वीकार कर ली गयी थी, तब यह भी स्वीकार करना आवश्यक हो जाता है कि अ-योय-सापेक्ष सरल रेखात्मक अक्षर वगैरे दो प्रेक्षकों के निर्देशाना का सम्बन्ध लोरेंट्ज-रूपांतरण के द्वारा ही व्यक्त हो सकता है, न कि गैलीलीय रूपांतरण के द्वारा।

गैलीलीय रूपांतरण के स्थान में लोरेंट्ज रूपांतरण का स्थापित करने की आवश्यकता के कारण और उसके भौतिक परिणामों का विवेचन अत्यन्त आवश्यक है। आकाश और वायु की धारणाओं के गहन आलोचनात्मक अध्ययन के द्वारा आइन्स्टाइन ने यह विवेचन किया था। यह विवेचन जरूरी था हो गया था कि लोरेंट्ज-रूपांतरण का स्वीकार करने से कुछ ऐसे परिणाम अनिवार्य हो गये जिन्हें हम यायत विरुद्धाभास समझ सकते थे। इस रूपांतरण में एक बात यह बात निहित है कि निरपेक्ष काल का अस्तित्व है ही नहीं अथवा सापेक्ष गतिवाले दो प्रेक्षकों द्वारा निर्णीत समय अथवा कालान्तराल बराबर नहीं होते। और दूसरी बात यह भी निहित है कि दो द्रव्य बिन्दुओं के बीच की दूरी का मान या दिगन्तराल भी निरपेक्ष नहीं होता अथवा उन दो प्रेक्षकों के लिए बराबर नहीं होता। यदि समय और दूरी की निरपेक्षता को हम स्वतः सिद्ध मान लें तो अनिवार्यतः हमें गैलीलीय रूपांतरण भी स्वीकार करना पड़ेगा। विपरीततः लोरेंट्ज रूपांतरण को स्वीकार करने का यह अर्थ होगा कि अत्यन्त स्वाभाविक ज्ञान पड़नेवाली इन स्वतः सिद्ध मायताओं का छोड़ देना पड़ेगा। एन कर्टिनार्ड का दूर करने के लिए आइन्स्टाइन ने आलोचनात्मक विश्लेषण करने एवं उपाय प्रस्तुत किये हैं जिनसे कालान्तराल और दिगन्तराल का प्रयोग के द्वारा निर्णीत किया जा सके। इस विश्लेषण में उन्होंने यह मूल-भौतिकत्व बनायी कि ऊष्मा का अथवा किसी भी प्रकार के संचयन का स्थानान्तरण प्रकाश के गैर-आवृत्तीय वेग की अल्प

की विभिन्न घड़िया के प्रेक्षित समय विभिन्न निकलेंगे । और क तथा स-त्रा की सभी घाँटें 'जया-यानुवर्ती' होने के कारण स-त्रा के किसी विशेष तन्त्र पर क-त्रा से सम्बन्धित प्रेक्षका द्वारा प्रेक्षित क की घड़िया के समय भी विभिन्न निकलेंगे । आपेक्षिकता के सिद्धान्त में योग्यता का अस्तित्व ऐसे निरपेक्ष जग में ही नहीं जा समस्त अयोग्य-सापेक्ष गति-शील विभिन्न तन्त्रा के लिए ठीक समझा जा सके । और आइंस्टाइन ने अच्छी तरह प्रमाणित कर दिया है कि यह बिना किसी तथ्य प्रमाण के 'यूयाकाणीय वेग' की अपेक्षा तीव्रतर वेगवाले सन्तता स सन्तता की असम्भवता का ही परिणाम है ।

इन प्रकार लोरेंट्ज़ रूपांतरण की भौतिक व्याख्या के प्रयास में आइन्स्टाइन ने मित्र कर दिया है कि यदि कोई भौतिक वस्तु किसी प्रेक्षक का चलती हुई दिखाई देता है तो उसे गति की दिशा में उस वस्तु की लम्बाई उस वस्तु के सहगामी किसी अन्य प्रेक्षक द्वारा नापी हुई लम्बाई की अपेक्षा छोटी मालूम पड़ेगी । दूसरे शब्दों में मान लीजिए कि दो प्रेक्षक ऐसे हैं जो किसी दिशा में 'अयोग्य-सापेक्ष सरल रेखा' में चल रहे हैं और मान लीजिए कि इनमें से एक प्रेक्षक का घान एक छड़ है जिसको हम प्रकार रखा गया है कि उसकी लम्बाई गति की दिशा में हो और उस प्रेक्षक के नाप के अनुसार यह लम्बाई एक मीटर है तो दूसरे प्रेक्षक के नाप में वह छड़ एक मीटर से कम लम्बी निकलेगी और उन प्रेक्षक का आपेक्षिक वेग जितना ही अधिक तब होगा उतना ही लम्बाई का यह अन्तर भी अधिक निकलेगा । किन्तु दूसरे प्रेक्षक की अपेक्षा छड़ का इस आकुचन का परिमाण साधारणतः अत्यन्त ही छोटा होता है और केवल उसी दशा में प्रेक्षणमय होता है जब उनका आपेक्षिक वेग प्रकाश के 'यूयाकाणीय' का के नजदीक पहुँच जाता है । यही कारण है कि प्रयोग के द्वारा इस आकुचन के अस्तित्व का प्रत्यक्ष प्रमाण नहीं मिल सकता । किन्तु यह आकुचन जो व्यवहारतः सदैव स्वल्प ही होता है ठीक उस आकुचन के बराबर परिमाण का होता है जिसकी फिटजिरेल्ड और लार्डेल ने कल्पना की थी और जो आइंस्टाइन के प्रयोग के दृढ़त नकारात्मक परिणाम की व्याख्या के लिए पर्याप्त समझा गया था । फिर भी फिटजिरेल्ड-लार्डेल के आकुचन में और आइंस्टाइन के मनानुसार लोरेंट्ज़ रूपांतरण से उत्पन्न आकुचन में तात्त्विक भेद है । पहला तो वस्तुतः ईश्वर में निरपेक्ष गति के द्वारा उत्पन्न वास्तविक आकुचन माना गया था, किन्तु दूसरा तो द्वितीय प्रेक्षक द्वारा अनुभूत केवल आभासी

आनुचन ह। उमकी अविलस्य व्युत्पत्ति का कारण वह त्रिभि ह जिमके अनुमाग विभिन्न प्रेशन कालांतराला आर दिगनराला का नाप करन ह और वह लोरटज स्पानरण ह जो उन दाना प्रेशका के द्वारा किये गये नापा के गणितीय सम्बध का व्यनन करता ह। लम्बाई के इस आभासी आकुचन का ही परिपूरक^१ घटिया का आभासी मन्न^२ है। व-तय से सम्बधित प्रेशक जब ख-नन की घटी की चाल का अययन करन ह तब उहें मालूम देता ह कि वह घटी उनकी व-नग्रीय घटिया की अपथा धीर चलती है और व ममचन ह कि गणिगोल घटी पीछे हानी जाती ह। आइन्स्टाइन न मिद्ध किया कि यह भी लारैटज स्पान्तरण का ही परिणाम है। लम्बाई का आकुचन और घटिया का मदन दाना ही आभासी ह और आगग तथा बाल की उन नवीन परिभाषाआ से उत्पन हुए है जिनका लारटज स्पान्तरण मे सम्बध है। निपरीतन यदि लम्बाई के आकुचन और घटिया के मदन का पूवत स्वीकृत मान लिया जाय ता लोरटज स्पान्तरण के सूत्र का सत्यापन हो जाना ह।

जिन युक्तिया मे आइन्स्टाइन ने आकाश तथा बाल की अपनी नूतन धारणा का जीचित्य मिद्ध किया ह वे अधिकतर ऐसी ह जिनका यथाथ प्रतिपादन बहुधा गूढ और जटिल होता है। किन्तु वे युक्तिया पूर्णत प्रगल्ह और तर्क की दष्टि से उनके विरुद्ध कोई गभीर दोषारोपण नही किया जा सकता। विनपत हम इस विरोधाभासी तथ्य का अकाट्य रूप से मिद्ध कर सकते ह कि छडा का आकुचन और घटिया का मदन अयायानुवर्ती आभास ह अथान यदि अयाय-सापक्ष अचर वर्गीय गतिवाले का प्रक्षका का एक एक छट और एक एक घडी ऐंगी दे दी जाय जिनकी बनावट बिल्बुल एकन्मी हो ता प्रत्येक प्रेशक का हमारे प्रेशक की छड अपनी छड से छाटी दिखाई दगी और हमर प्रेशक की घडी अपनी घडी की अपक्षा मुस्त चलती हुई मालूम पड़ेगी। यह अयायानुवतन देगने मे कितना ही आचयजनक क्या न मालूम ध किन्तु जय इस सिद्धांत की परीक्षा सावधानी से की जाती ह तब इसकी सतोपजनक व्याख्या सरगतापूर्वक हो जाती है। किन्तु स्वभावत ही ऐसी परीक्षा यहां सभव नही ह।

आइन्स्टाइन के आपेक्षिकता सिद्धांत के द्वारा आकाश और बाल की धारणाआ में जा परिवतन हुआ उमके कारण गतिमिति के नियमा मे भी परिवतन करने की आवश्यकता हा गयी। विशेष कर इस सिद्धान्त से वेग के मयोजन का जो नियम प्राप्त हाता है वह चिरप्रतिष्ठित नियम से अधिक जटिल है। वेग-मयोजन के

एक त्रितीय नियम के द्वारा गतिशील यण विघटन^१ माध्यमा में प्रकाश प्रचरण सम्बन्ध प्रकाश के प्रमाण व परिणाम की सरल व्याख्या ही यन्त्रुन आपभित्ता मिद्वान्त का एक अच्छी सफलता मानी जानी है। ईधर मिद्वान्त की भाषा में तो इस प्रमाण का परिणाम यह कहकर समझाया जा सकता था कि यन्त्रुन यन्त्रु की गति के कारण इसका भी उगमके साथ-साथ जागिर गहनपण^२ हो जाता है। इस आगिर सहस्रपा के लिए गतिशील वस्तु के घटनाक^३ व घटन के रूप में प्रकाश न तिम मूत्र का प्रतिपादन किया था उसका मत्यापन फीजा^४ ने कर दिया था। लॉरेंट्ज के इलक्ट्रान-मिद्वान्त में भी इस मूत्र के निगमन में सफलता मिली थी, किन्तु आपक्षिकता के मिद्वान्त के द्वारा इसकी जा व्याख्या प्राप्त हुई है यह बहुत ही अविन सरल और सुन्दर है क्योंकि इसमें तो यह वेग-मयाजन के नवीन मूत्र के प्रत्यक्ष परिणाम के रूप में ही प्रकट हो जाता है।

२ दिक्-काल^५

गैलीलीय रूपान्तरण उस परिवर्तन पर आधारित था जिसमें दिक् (आकाश) और काल एक दूसरे से पूर्णतः स्वतंत्र माने गये थे और इस स्वतंत्रता के ही कारण न सत्ताआ में निरपेक्षता का गुण आरापित हुआ था। इसके विपरीत लॉरेंट्ज-रूपान्तरण के समीकरणों के रूप से ही प्रकट है कि आपक्षिकता के सिद्धान्त में यह सम्भव ही नहीं है कि जाकाशीय निर्देशाका की समय के निर्देशाक से स्वतंत्र समझा जाय। विभिन्न प्रेक्षकों के लिए उपयोगी आनाश और काल के निर्देशाका के पारस्परिक सम्बन्ध का ज्यामितीय विधि से निदर्शन करने के लिए एक चतुर्विमितीय^६ सानत्यक की कल्पना करना आवश्यक हो जाता है जिससे लॉरेंट्ज रूपान्तरण में निहित आकाश और काल का प्रगाढ ऐक्य अमूर्त रूप में सम्पन्न हो जाता है। इस ज्यामितीय निरूपण का मिन्काउस्की^७ ने सर्वाधिक और विकसित किया था और अब यह दिक्-काल के नाम से प्रख्यात है।

लॉरेंट्ज रूपान्तरण से दिक्-काल के दो बिन्दुओं का अन्तराल निश्चर रहता है और आपक्षिकता के सिद्धान्त में भौतिक विज्ञान के समस्त नियम दिक्-काल टेन्सरा^८ के अनुगम के रूप में प्रकट होते हैं। प्रत्येक प्रेक्षक उस चतुर्विमितीय दिक्-काल सातत्यक^९ को किसी विशेष प्रकार से काटकर अपने निजी आकाश और काल का पथक कर लेता है और जिन विभिन्न रीतियों से दो जयाय-सापक्ष अक्षर बगदात

1 Dispersing 2 Drag 3 Refracting index 4 Fizeau 5 Space Time
6 Four dimensional 7 Continuum 8 Minkowski 9 Tensor 10 Continuum

प्रेमर अपन अपन ताराग और बाल का पथर बरत ह उहा म गगनत स्थापनग
व मृद तुग्न प्राप्त हा जान ह ।

इम प्रकार आपभित्ता का सिद्धान्त का व एर नया ज्ञानग व नीना निर्देशाग
का मिश्रण रिकी प्रसार तारा एर ही गायक में मघटि बर त्ना ह यद्यपि उहा
भीतिर स्था म स्ता अधिर जलर ह । चिनु इमग हम यह परिणाम नहा तिराग
चाहिए कि आपभित्ता व सिद्धान्त न आराग और का म अभिन्नता सिद्ध तर ती ह ।
केवल द्रवता ही नही ह कि अपन भीतिर गुण व कारण आवाग और का ज्ञ भी
वस्तुन भिन्न ही रहत ह चिनु मिश्रताम व त्रि-बाल व गणिताय त्रिचरन म यह
भिन्नता स्पष्टत इम बात म प्रबट हानी ह कि उम बाल व निर्देशाग का वाय और
आराग व निर्देशाग के वाय एर-म नहा मान जान । यदि हम चाह कि इम त्रि
का भी ज्यामितीय धारणा व अनुसार यगिन्दाय आवाग ही समता जाय ता
इम चतुर्विमितीय गायक व निमाण व लिए बेजल नीना आरागीय निर्देशाग का
ज्या-वा-न्या मयाजन बरने म काम नहीं चलता । समय के निर्देशाग का $\sqrt{-1}$ स
गुणा बरके तत्र उम आरागीय निर्देशाग स मिलाना आवश्यक हाता है । यही आराग
और बाल की मीलित भिन्नता का प्रतीक ह ।

इमके अतिरिक्त बाल का एक मूल गुण यह ह कि उमका प्रवाह बेजल एक ही दिगा
में हाता है । इमम दिक्-का म एक प्रकार की ध्रुवीयता^१ प्रबट हानी है और जिस अध
पर बाल का नाप दिया जाता है उमनी धन दिगा का विगिष्टता^२ प्राप्त हा जानी ह ।
प्रत्येक क्षण पर द्रव्य बिन्दु की स्थिति दिक् बाल के रिकी एर बिन्दु के द्वारा निरूपित
हाती ह और बाल प्रवाह में इस बिन्दु व उत्तरात्तरवर्ती स्थाना स दिक्-बाल में एक
रेखा बन जानी ह जा उम द्रव्य बिन्दु की विश्व रेखा^३ कहानी ह । प्रत्येक विश्व रेखा
की एक दिगा विशिष्ट हानी ह जा भूतबाल स भविष्य की आर जानी है और विश्व
रेखा जीचने का यह अद्वितीय दिगा ही इस बात का प्रबट बरती है कि आपाश और
बाल में अंतर कहा ह ।

चिनु आराग और बाल चाह कितने ही भिन्न क्या न हा, इम बात में भी कम
सत्यता नही ह कि आपेक्षिता के सिद्धान्त में व एक दूसरे स स्वतंत्र नही हो सकत और
यह चतुर्विमितीय दिक् का ही उनकी इम पारस्परिक परतनता का प्रतीक है और
यही वह नवीन निर्देश तत्र प्रस्तुत बरता ह जिसमें समस्त प्राकृतिक नियमा का
व्यक्त करना आवश्यक है ।

दिक्-काल के विषय में हम अत्र और अधिक नहीं कहना चाहते क्योंकि विज्ञान गणितीय सापेक्षता^१ की सहायता के इसका अधिक सूक्ष्म अध्ययन सम्भव नहीं है। हम तो अब यह बताना चाहते हैं कि आइन्स्टाइन के सिद्धान्त ने यांत्रिकी के नियमों में परिवर्तन क्या और कैसे किया।

३ आपेक्षिकीय गति-विज्ञान^३

न्यूटन के चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकीय समीकरण गैलीलीय-रूपान्तरण में निश्चर रहते हैं। जब तक यह समझा जाता था कि दो जड़ोत्प्रेक्ष अचर बगवाले प्रणाली के निर्देशांक का सम्बन्ध गैलीलीय रूपान्तरण से प्राप्त हो सकता है तब तक तो यह भी स्वीकार करना पड़ता था कि 'न्यूटन के समीकरण अचल नक्षत्रों की अपेक्षा सरल रेखा में अचर वेग से चलनेवाले सभी निर्देश तन्त्रों में सत्य रहते हैं। इनमें से प्रत्येक तन्त्र के समस्त प्रेक्षकों की दृष्टि में यांत्रिकीय घटनाओं के नियम यथायत्त अभिन्न रहते हैं और उन्हीं तन्त्रों में सम्पन्न किसी भी यांत्रिकीय प्रेक्षण के द्वारा उस तन्त्र का निरपेक्ष गति का निर्णय करना सम्भव नहीं होता। पुरातन यांत्रिकी में आपेक्षिकता का सिद्धान्त यही था। किन्तु जब अजड-सापेक्ष अचर-वेगीय तन्त्रों के निर्देशांक के रूपान्तरण के लिए आइन्स्टाइन ने गैलीलीय रूपान्तरण के स्थान में लोरेंट्ज रूपान्तरण को प्रतिस्थापित कर दिया तब स्थिति बदल गयी। इस प्रतिस्थापन के कारण माइकैल्सन के प्रयोग तथा वेने ही अन्य प्रयोगों के नकारात्मक परिणामों से सुसंगत आपेक्षिकता का सिद्धान्त प्रकाशीय तथा विद्युत चुम्बकीय घटनाओं के लिए यथायत्त समझा जाने लगा। किन्तु 'न्यूटन के यांत्रिकीय समीकरण लोरेंट्ज रूपान्तरण में निश्चर नहीं रहते। अतः यह आपेक्षिकता का सिद्धान्त यांत्रिकीय घटनाओं के लिए सत्य नहीं हो सकता—कम से कम दृढ़तापूर्वक तो हा ही नहीं सकता। आइन्स्टाइन ने इस परिणाम को स्वीकार करने योग्य नहीं माना और यह धारणा बनायी कि आपेक्षिकता का सिद्धान्त समस्त प्रकार की भौतिक घटनाओं के लिए मान्य होना चाहिए। किन्तु तब यह आवश्यक हो गया कि यांत्रिकी के समीकरणों का परिवर्तित करके ऐसा रूप देना चाहिए कि वे लोरेंट्ज रूपान्तरण में निश्चर रहें। किन्तु यह परिवर्तन इस रूप से होना चाहिए कि जिन समस्त सामान्य अवस्थाओं में उन समीकरणों में अत्यन्त कमकारी परिणाम निकले हों उनमें वे पहले के समीकरण अब भी प्रथम सन्निकटता के रूप में यथायत्त बने रहें। यांत्रिकी के इन मूल समीकरणों के लिए लोरेंट्ज

स्पान्तरण में निश्चर रहनेवाला रूप मालूम करना आसान था। यूटन के समीकरणों के अनुसार सन्न^१ का बाल-सापक्ष अवकलज^२ बल के बराबर होता है। आइन्स्टाइन के गति विज्ञान में यह नियम तो ज्या का-त्या रखा गया है किंतु सवेग की परिभाषा चिर प्रतिष्ठित गति विज्ञान की परिभाषा से भिन्न कर दी गयी है। द्रव्य विन्दु के सवेग का द्रव्यमान तथा वेग के गुणनफल के बराबर मानने के स्थान में इस नवीन गति विज्ञान में उसे उस राशि के बराबर माना गया है जो द्रव्यमान तथा वेग के गुणनफल का एक ऐसे गुणक से भाग देने पर प्राप्त होती है जो वेग का फलन होता है। जब तक वेग इतना कम होता है कि उसके वेग और प्रकाश के शून्याकाशीय वेग के वेग का अनुपात उपक्षणीय रहे तब तक तो इस गुणक का एक के बराबर मान लेने में कोई ध्यान देना पड़ना नहीं होती। फलन सवेग का वही पुराना सूत्र पुनः प्राप्त हो जाता है। किन्तु प्रकाश के शून्याकाशीय वेग की कोटि के तीव्र वेगों के लिए उस गुणक का मान एक के बराबर नहीं रहता और वह वेग के साथ-साथ बदलता भी है। उस दशा में पुराने और नये नियमों के परिणामों में अन्तर पैदा हो जाते हैं और द्रव्य विन्दु का वेग ज्या ज्या प्रकाशीय वेग के निकट पहुँचता जाता है त्या त्या इन अन्तरों के प्रेक्षण की सम्भावना भी अधिक बढ़ती जाती है। इसके अतिरिक्त गति विज्ञान के नवीन समीकरणों में यह भी परिणाम आसानी से निकल आता है कि किसी भी द्रव्य विन्दु का वेग प्रकाश के शून्याकाशीय वेग से अधिक कभी भी नहीं हो सकता। अतः ऐसा माना जाता है कि प्रकाश में ऊर्जा के स्थानांतरण के वेग के लिए प्रकाश का शून्याकाशीय वेग ही उच्चतम सीमा है। इस प्रकार घड़िया के सकालन की विधि की मीमांसा में आइन्स्टाइन ने जिस परिकल्पना का निमाण किया था उसकी भी परत^३ पुष्टि हो जाती है।

हम यहां आपेक्षिक यांत्रिकी के समीकरणों के विस्तृत विवचन में प्रवृत्त नहीं हो सकते। इतना ही कह देना पर्याप्त होगा कि यह यांत्रिकी ठीक उसी पद्धति का अनुसरण करने से विकसित हो सकती है जिसे पुरानी यांत्रिकी में इतनी अच्छी सफलता मिली थी। उदाहरणार्थ जिस स्थिर त्रिज्या^४ के सिद्धांत में प्रारम्भ करके हमिल्टन और लाग्रान्ज के समीकरण प्राप्त किये गये थे, ठीक उसी सिद्धांत से इन नवीन गति विज्ञान के समस्त समीकरणों का भी निगमन हो सकता है और अपरिवर्ती बल क्षेत्रों में मापदण्ड^५ दम का अल्पतम त्रिज्या का नियम और यांत्रिकी का सिद्धान्त ये भी पुनः प्राप्त हो जाते हैं। किन्तु पुरानी और नयी यांत्रिकी में एक गहरा भेद यह है कि त्रिज्या के अनुकूल

1 Momentum 2 Differential 3 A posteriori 4 Stationary action

5 Law of least action 6 Integral of action

में प्रयुक्त फलन दाता में अभिन्न नहीं है। किन्तु जब भी गतिशील द्रव्य का वग इतना कम हो कि उसके तथा प्रवास के शूयाकाशीय वग के वगों का अनुपात उपमणाय हो जाय, तब इस आपेक्षिकीय फलन का मान क्रिया के चिरप्रतिष्ठित फलन के मान के बराबर हो जाता है। इसका प्रत्यक्ष तात्पर्य यह है कि चिरप्रतिष्ठित यांत्रिका एका मन्त्रिकटन है जो अधिकांश साधारण अवस्थाओं में सत्य ही ठहरता है।

हम देख चुके हैं कि यांत्रिकी के आपेक्षिकीय समीकरणों में जो परिवर्तन निविष्ट किया गया है वह इस बात से व्युत्पन्न किया जा सकता है कि किसी द्रव्य बिन्दु का सवेग उसके एक लक्षणीय नियतांक को वग स गुणा करके तथा इस गुणनफल में वग के एक विशेष फलन का भाग देने से प्राप्त होता है। किन्तु यदि हम चाहें तो यह भी कह सकते हैं कि पुरानी यांत्रिकी के समान ही द्रव्य बिन्दु का सवेग अब भी द्रव्यमान और वग का गुणनफल होता है किन्तु तब यह है कि यह मान लिया जाय कि वग के परिवर्तन के साथ-साथ द्रव्यमान भी परिवर्तित हो जाता है। ज्यों-ज्यों वग का मान शून्य के निकट पहुँचता जाता है त्यों-त्यों सवेग के व्यञ्जक^१ के हर^२ का मान भी १ के निकट पहुँचता जाता है। इस कारण इस व्यञ्जक के अंश^३ का लक्षणीय नियतांक ही विराम-अवस्था में उस द्रव्य बिन्दु का द्रव्यमान होता है। इसे बहुधा "नैज द्रव्यमान"^४ अथवा विराम द्रव्यमान^५ कहते हैं क्योंकि यही उस द्रव्य बिन्दु के सहचारी प्रेक्षक द्वारा प्रेक्षित द्रव्यमान होगा। हम पहले ही बता चुके हैं कि द्रव्यमान का वेगानुचारी परिवर्तन प्रक्षाल्य गम्य तभी होगा जब वेग प्रकाश के शूयाकाशीय वग के निकट पहुँच जायगा।

आपेक्षिकता के द्वारा सवेग के व्यञ्जक में जो परिवर्तन हुआ है उसी का आनुपातिक परिवर्तन ऊर्जा के व्यञ्जक में भी हो गया है। यह कोई आश्चर्य की बात नहीं है क्योंकि यह आसानी से प्रमाणित किया जा सकता है कि सवेग के तीनों घटक^६ और ऊर्जा के चारों ही दिक्-बाल की एक चतुर्विमितीय राशि के घटक हैं जिसे हम बिन्दु-बिन्दु चतुर्दिष्ट^७ कह सकते हैं। और जब सवेग और ऊर्जा एक ही गणितीय धारणा के अंग हैं तब क्या आश्चर्य है कि एक का परिवर्तन दूसरे में भी प्रतिबिम्बित हो। ऊर्जा के व्यञ्जक में वर्ग-राशिक गुण है कि वेग का मान शून्य हो जाने पर भी ऊर्जा का मान शून्य नहीं हो जाता किन्तु तब उसका मान अपरिवर्तित हो जाता है और नैज द्रव्यमान और आकाश के शूयाकाशीय वग के वग के गुणनफल के बराबर हो जाता है। इससे प्रकट होता है कि प्रत्येक द्रव्य बिन्दु में और प्रत्येक अवस्थितित्व^८ गुणवाली वस्तु में वेग स

1 Expression 2 Denominator 3 Numerator 4 Proper mass 5 Rest mass 6 Components 7 World force 8 Four vector 9 Inertia

स्वतंत्र भी कुछ नैज ऊर्जा विद्यमान रहती है। यदि वेग का मान शून्य न हो तो उस वस्तु की ऊर्जा नैज ऊर्जा की अपेक्षा अधिक होती है और गतिशील वस्तु की सम्पूर्ण ऊर्जा तथा नैज ऊर्जा में जो अंतर होता है वही गति के कारण उत्पन्न ऊर्जा होती है और उमी को हम गतिज ऊर्जा कह सकते हैं। यदि गतिज ऊर्जा के इस आपेक्षिकीय व्यञ्जक पर गौर किया जाय तो हम देखेंगे कि प्रकाश वेग की अपेक्षा अल्प वेग के लिए इस व्यञ्जक के मान में और पुरानी यांत्रिकी द्वारा निर्धारित मान में बड़ी प्रेक्षण-गम्य अंतर नहीं रहता अर्थात् यह भी द्रव्यमान और वेग के वेग के गुणनफल के अर्धांश के बराबर ही हो जाता है। इसमें फिर वही प्रथम सन्निकटन का लक्षण दिखाई देता है कि प्रमाण वेग की अपेक्षा स्वल्प वेग के लिए यथाथ समान जा सकता है और यही कारण है कि आपेक्षिकतावादी की दृष्टि में भी सामान्यतः यूटन के सूत्र का उपयोग उचित समझा जा सकता है।

जा प्रेक्षक किसी भौतिक वस्तु की अपेक्षा अचल रहता है उसके दृष्टिकोण से उस वस्तु में विद्यमान ऊर्जा का मान उस वस्तु के नैज द्रव्यमान और प्रमाण वेग के वेग के गुणनफल के बराबर होता है। किन्तु हम देख चके हैं कि यदि उस वस्तु में गति हो तो उसका द्रव्यमान उसके वेग पर अवलम्बित होता है किन्तु स्वल्प वेग के लिए उसमें और नैज द्रव्यमान में कुछ भी अंतर नहीं दिखाई देता। परन्तु जब उसका वेग प्रमाण वेग के लगभग पहुँचने लगता है तब यह द्रव्यमान भी बढ़कर अनन्त की ओर प्रवृत्त होता है। यह भी प्रमाणित किया जा सकता है कि प्रत्येक प्रेक्षक के द्वारा नापा हुआ किसी भी वस्तु की ऊर्जा का मान मरदा ही प्रमाण-वेग के वेग और उस गतिमान वस्तु के प्रेक्षक सापेक्ष द्रव्यमान के गुणनफल के बराबर होता है। अतः जया-ज्या वस्तु का वेग बढ़कर प्रमाण वेग के निकट पहुँचता जाता है तथा-तथा उस गतिशील वस्तु की ऊर्जा का मान भी बढ़कर अनन्त के निकट पहुँचता जाता है। किसी वस्तु में प्रकाश के गूणाकाशीय वेग के बराबर या उसमें अधिक वेग उत्पन्न करने की असंभवता का ही यह एक नवीन रूप है। आइंस्टाइन ने इस परिणाम को यह प्रमाणित करके और भी अधिक व्यापक रूप दे दिया कि सब वस्तुजा में—सब भौतिक मत्ताओं में—जिनका किसी प्रेक्षक द्वारा प्रेक्षित कुछ द्रव्यमान होता है उनमें इस द्रव्यमान के अस्तित्व के ही कारण कुछ ऊर्जा भी होती है जिसका उमी प्रेक्षक द्वारा प्रेक्षित मान द्रव्यमान और प्रमाण वेग के वेग के गुणनफल के बराबर होता है। उन्होंने इस बात को बहुत से उदाहरणों द्वारा भी

स्पष्ट कर दिया है। इस प्रकार ऊर्जा के अवस्थितित्व के इस सिद्धान्त के द्वारा अन्त और ऊर्जा में एक व्यापक पारस्परिक सम्बन्ध स्थापित हो गया है। और इससे परिणाम निकलता है कि ऊर्जा का ह्रास होने से सब वस्तुओं का द्रव्यमान घट जाता है। विपरीततः यदि उनमें ऊर्जा की वृद्धि हो जाय तो उनका द्रव्यमान भी बढ़ जाता है। उदाहरण के लिए जब किसी परमाणु में संचिक्रण का उत्सर्जन होता है तब उस द्रव्यमान घट जाता है। जब से ऊर्जा के अवस्थितित्व का सिद्धान्त प्रतिपादित हुआ है तब से सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान की समस्याओं में—जितना तारा भौतिकी की समस्याओं में उतना ही नाभिकीय तथा पारमाणविक भौतिकी की समस्याओं में भी—इसका महत्वपूर्ण स्थान रहा है। विशेषतः परमाणु विघटन की घटनाओं के ऊपर सम्बन्धी आकड़ों के तैयार करने में और इन घटनाओं के प्रवर्तक नाभिकों की पारस्परिक प्रतिक्रियाओं के सूत्रों के निमाण में तो इसने बड़ी प्रबल सहायता दी है। किन्तु इस स्थान इन प्रश्नों का विवेचन का नहीं है।

४ व्यापक आपेक्षिकता

इस पुस्तक में हम व्यापक आपेक्षिकता के सम्बन्ध में बहुत थोड़े ही गलत बातें। अपने सिद्धान्त के विकास के प्रारम्भ में तो आइन्स्टाइन का विवेचन केवल ऐसे स्थितियों तक ही सीमित था जिनमें अचल नक्षत्रों के सापेक्ष सरल-रेखात्मक और अचर वेगीय गति हो। इसमें उन्होंने आपेक्षिकता के सिद्धान्त का केवल वही रूप प्राप्त किया जो सरल रेखात्मक और अचर-वेगीय गति के लिए पुरानी यांत्रिकी के समान ही था। इसी लिए जिन परिणामों की उन्होंने प्रारम्भ में घोषणा की थी उनके समर्थन का नाम 'विशिष्ट आपेक्षिकता' रखा गया था। इसी के सम्बन्ध में हमने मूल रूप से ऊपर लिखा है। किन्तु प्रत्यक्षतः ही यह आवश्यक था कि इन परिणामों को अधिक व्यापक बनाकर ऐसा सिद्धान्त प्रस्तुत किया जाय जो असरल रेखात्मक और त्वरित वेगवाली गतियों के लिए भी उपयुक्त हो। ऐसी गतियों के लिए सामान्यतः 'विशिष्ट गति' के अर्थ के ठीक अनुपमता काई आपेक्षिकता का सिद्धान्त ही नहीं माना जाय कि किसी त्वरित तंत्र में (यथा किसी घूर्णन-गति युक्त तंत्र में) निबद्ध प्रणाली यांत्रिक प्रणालियों और विद्युत चुम्बकीय घटनाओं के प्रवाह पर उस गति का प्रत्यक्ष अवयव ही माना जायगा। विशेषतः त्वरित तंत्र में यांत्रिक घटनाओं के सम्बन्ध

का परिवर्तन तभी सम्भव होता है जब हम उसे 'अपकेन्द्र-बल'¹ और 'कारियालिम-बल'² जैसे वास्तविक बल का उपयोग करें और इन बल के द्वारा उत्पन्न प्रभाव उस त्वरित प्रेक्षक का यह बता देने हैं कि वह स्थिर नहीं है। फिर भी आपभिन्नता की धारणा का व्यापक रूप में अणुगुण रमन के लिए आवश्यक है कि यह मान लिया जाय कि प्रकृति के नियम सदा दिक्-काल में समीचीन समीकरणों के द्वारा व्यक्त होते हैं और भीन्न घटनाओं पर त्वरण के प्रभावों की व्याख्या केवल उस व्यवस्था द्वारा दी जाय जो उस त्वरित प्रेक्षक के निर्देशांक का निर्णय करने के लिए बनायी गयी है। इस विवेचन से प्रकट होता है कि त्वरित प्रेक्षक दिक्-काल में बल रेखीय³ निर्देशांक का उपयोग करना है और केवल यही बात प्रतीत बाना की विवेचन अपकेन्द्र-बल और अपकेन्द्र-सघटकों के प्रादुर्भाव की व्याख्या के लिए पर्याप्त होती है।

इस समस्या पर सूक्ष्म विचार करने समय ही आइन्स्टाइन का यह विलक्षण बात सूची और उसी के द्वारा उन्हें गुणत्वानुपपन्न के विख्यात सिद्धान्त का प्रतिपादन करने में सफलता मिली। नात्र जगत के तथ्या की व्याख्या में जिस गुणत्वानुपपन्न-बल का इतना महत्त्वपूर्ण स्थान है वह सदा से हमारे परिचित अथवा सभी प्राकृतिक बल में बहुत कुछ पथक ही रहा है। उसका एक अनिवार्य अर्थ यह है कि वह सदा जाकपित वस्तु के द्रव्यमान का अनुपाती होता है और इसादवा⁴ के अत्यन्त यथायत्ता पूर्णप्रयोगों में प्रमाणित हो चुका है कि यह अनुपातत्व पूर्णतः यथाय⁵ है। अतः गतिविज्ञान के समीकरणों के रूपमान से ही यह स्पष्ट हो जाता है कि शुद्ध गुरुत्वीय बल-क्षेत्र में भौतिक वस्तुओं की गति द्रव्यमान पर अवलम्बित नहीं होती। इसलिए गमन पथ⁶ निर्णय करने के लिए यह जानने की आवश्यकता नहीं होती कि गमन करनेवाली वस्तु किस प्रकार की है। गुरुत्वीय बल-क्षेत्र के अपने आन्तरिक गुणों में ही ये गमन-पथ न जाने कैसे बन जाते हैं। इस तथ्य में आइन्स्टाइन को इस बात का प्रमाण दिखाई दिया कि किसी प्रदेश में गुरुत्वीय बल-क्षेत्र का अस्तित्व दिक्-काल में स्थानीय घटना की उपस्थिति प्रकट करता है। विविष्ट आपक्षिकता का दिक्-काल तो ठीक वसा ही चतुर्विमितीय सातत्यक है जहाँ सब यूक्लिडीय सातत्यक होते हैं और समतल जिनका एक द्विविमितीय उदाहरण है। किन्तु यह मानने में हमारे सामने बाढ़ बाधा नहीं है कि दिक्-काल सबन यूक्लिडीय नहीं होता और उसमें वही स्थानीय घटनाएँ भी होती हैं। और तब

इस दिक्-बाल में सरल रेखात्मक कार्तीय निर्देशाव-तन्त्र का अस्तित्व संभव हो सकता और उसके बिन्दुओं के स्थान निरूपण के लिए उम प्रकार के निर्देश की आवश्यकता है जैसे ज्यामिति में वक्र-रेखा के अध्ययन के लिए वाम में नियत है। अतः इस दिक्-बाल के वक्र प्रदेशों में स्थित प्रेशक को वहाँ की घटनाओं के निरूपण के लिए अनिवार्य वक्र-रेखीय निर्देशाव का व्यवहार करना पड़ता है और न केवल गुण-बाल का प्रादुर्भाव होता है। जिस तरह किसी घूर्णन में अपक्ष बल की उपस्थिति का कारण यह है कि उस तन्त्र से निरूपित प्रेशक घटनाओं को प्रतीय दिक्-बाल में निर्दिष्ट करने के लिए वक्र-रेखीय निर्देशाव का उपयोग करता है। ठीक इसी तरह जहाँ गुण-बाल बल-क्षेत्र होता है वहाँ गुण-बाल भी इस कारण प्रेशक होता है कि वहाँ दिक्-बाल में वक्रता है और प्रेशक के लिए वक्र रेखीय निर्देशाव का उपयोग करना अनिवार्य हो जाता है। यहाँ मैं आइन्स्टाइन के गुण-बाल परम्परा सिद्धान्त की इस संक्षिप्त रूप-रेखा से ही सतोष करूँगा क्योंकि इससे अधिक विवरण जटिल गणितीय प्रक्रियाओं की सहायता के बिना संभव नहीं है। किन्तु तब भी कहूँगा कि यह सिद्धान्त सत्यता सागत्यपूर्ण है और बुद्धि के लिए पूर्णतः सतोषजनक है।

विशिष्ट-आपेक्षिकता के सिद्धान्त का प्रायोगिक सत्यापन बहुत जल्द तरह हुआ चुका है। आइन्स्टाइन के गति विज्ञान ने द्रव्यमान के जिस वेगानुचारी परिवर्तन का प्रागुक्ति की थी और जो प्रकाश वेग के समान तीव्रतामी इलैक्ट्रॉनों के सम्बन्ध में सत्य में ही प्रेक्षण-गम्य होना चाहिए वह अनेक प्रायोगिक अनुसंधानों के द्वारा सत्यापन से सत्य प्रमाणित हो गया है। ऐसे अनुसंधानों में 'गार्ड' और 'लवन्हा' के प्रसिद्ध संधान सबसे नये और सबसे अधिक निर्णायक हैं। इसी तरह ऊर्जा के अवस्थिति का सिद्धान्त भी इतना अधिक उपयोगी सिद्ध हुआ है (विगेपकर नामिकीय भौतिक विज्ञान में) कि उसकी सत्यता में सन्देह करने की गुंजायश नहीं है। किन्तु यहाँ विशिष्ट आपेक्षिकता का सिद्धान्त प्रमाणों के द्वारा सुसत्यापित जान पड़ता है फिर भी हम समझते हैं कि व्यापक आपेक्षिकता सिद्धान्त के विषय में उतनी निश्चितता प्रकट करना उचित नहीं है। जिन नवीन घटनाओं के अस्तित्व की प्रागुक्ति इस सिद्धान्त की है वे इतनी सूक्ष्म और दुर्ग्राह्य हैं कि उनका वास्तविक प्रक्षण हो जाने पर भी यह प्रमाण ही रहता है कि क्या सचमुच इनका वही कारण है जो आइन्स्टाइन का सिद्धान्त बताता है। वही ऐसा तो नहीं है कि इनका वास्तविक कारण कोई दूसरा ऐसा अस्त

स्वल्प विक्षाम^१ हो जिस पर उन घटनाओं से सम्बंधित विश्लेषण में विचार नहीं किया गया। न ता बुध ग्रह के परिसौर बिन्दु^२ के अत्यन्त दीर्घकालिक^३ विस्थापन में और न सूर्य बिम्ब के पास से निकलनेवाली प्रकाश किरणों के विचलन^४ में ही गरत्वाकपण की आपेक्षिकीय धारणाओं की सत्यता का अकाट्य प्रमाण दिखाई देता है। इन घटनाओं का अस्तित्व ता है और उनके परिमाण की काटि भी वही है जो आइन्स्टाइन के सिद्धांत के अनुसार होनी चाहिए। फिर भी उनकी व्याख्या में पूर्ण एकात्मता नहीं है। इनकी अपेक्षा तो सीरियस^५ नक्षत्र के प्रतिवेशी तारे के द्वारा उत्पन्नित स्पेक्टम-रखाओं का रक्ताभिमुखी विस्थापन अधिक सशयहीन मान्य पड़ता है। किन्तु इस प्रकार का केवल एक ही मत्यापन पर्याप्त नहीं समझा जा सकता।

व्यापक आपेक्षिकता सिद्धांत का प्रायोगिक सत्यापन जमा भी हो, फिर भी यह स्वीकार करना ही पड़गा कि आइन्स्टाइन के सिद्धांत की धारणाओं का समुच्चय एक भव्य कीर्तिस्तम्भ है। इस सिद्धांत से हमें अनेक नयी और उपयोगी धारणाएँ प्राप्त हुई हैं। इसने हमें पूर्व-कल्पित धारणाओं का प्रत्याख्यान करना सिखाया है और हमारी सैद्धांतिक मायताओं के आधारों की गहरी और सूक्ष्म परीक्षा करने की आवश्यकता से भी हमें परिचित कराया है। अत्यधिक कठिनता के ही कारण आपेक्षिकता के सिद्धांत का अध्ययन हमारे सैद्धांतिक भौतिकशास्त्र के मस्तिष्क के अनुकूलन^६ के लिए बहुत अच्छा अनुष्ठान सिद्ध हुआ है।

पाँचवाँ परिच्छेद

भौतिक विज्ञान में क्वांटमों का प्रादुर्भाव

१ चिरप्रतिष्ठित भौतिकी और क्वांटम-भौतिकी

अब भौतिक विज्ञान में क्वांटमों के प्रादुर्भाव का विवरण देने का समय आ गया है, किंतु इस प्रादुर्भाव की कहानी कहने से पहले यह लाभदायक होगा कि पाने में उन विभिन्नताओं को बता दिया जाय जिनके द्वारा पिछले परिच्छेद में वर्णित चिरप्रतिष्ठित प्राक्-क्वांटम भौतिक विज्ञान का उन क्वांटम सिद्धांतों से पराजित होता है जिन पर अब हमें विचार करना है। चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान के सिद्धांतों में प्रारम्भ से ही यह मान लिया गया था कि भौतिक जगत की अवस्था का दिग्दर्शक ऐसे अवयवों से किया जा सकता है जिन्हें हम 'त्रि-विमतीय आकाश-संस्थान' में वितरित और काल-प्रवाह में अनवरत रूप से प्रगामी समझ सकते हैं। इस भौतिक अवयवों की गति उनके कालानुवर्ती स्थान-परिवर्तनों के अनुक्रम के द्वारा निर्दिष्ट होती है। इन उपर्युक्त धारणाओं में और आपक्षिकीय धारणा में निश्चय ही बड़ा गहरा भेद है। जिस आकाश में भौतिक घटनाएँ घटित होती हैं और समस्त कल्पित संभव प्रेशकों द्वारा प्रेषित होती हैं उसे प्राक्-आपक्षिकीय भौतिक विज्ञान में अवस्था-संस्थान माना गया था और यह भी मान लिया गया था कि 'एक ही सावभौम निर्णय काल' उन सभी प्रेशकों का अपनी स्थिति में बाँधे हुए है। इसके विपरीत आपक्षिकीय वादी की दृष्टि में निरपेक्षता का लक्षण न तो आकाश में है और न काल में। यह लक्षण तो केवल उस चतुर्विमतीय सातत्यत्व में है जो आकाश और काल के परस्परविवक्षित के द्वारा निर्मित होता है और जो दिक्-काल^१ कहलाता है। इस दिक्-कालावस्था का विभिन्न प्रकार से काटकर विभिन्न प्रेशकों अपने-अपने निजी आकाश और काल प्राप्त कर लेते हैं। आकाश और काल की धारणाओं में ऐसा गभीर परिवर्तन हो जाने

पर भी आपक्षिकतावादी इस बात का स्वीकार करने में अपने पूर्ववर्ती क्वांटिका में सहमत हैं कि प्रत्येक प्रेशर भौतिक घटना-अभ्युच्चय को आकाश और बाल के ऐसे सम्बन्ध में निर्दिष्ट कर सकता है जो स्वयं मुनिर्णीत है और जो उनमें निविष्ट मत्ता-आकाश गुण-श्रमों से पूर्णतः स्वतन्त्र है। उदाहरण के लिए वाई भी विनिष्ट प्रेशर किसी भी क्वांटिका के क्वांट प्रवाह में उत्तरात्तरवर्ती आकाशीय स्थानों के मुनिर्णीत अनुक्रम के द्वारा उस क्वांटिका के अस्तित्व का निर्दिष्ट कर सकता है और ऐसा करने में उस क्वांटिका के भौतिक लक्षणा का—यथा उसके द्रव्यमान को—ज्ञानने की कुछ भी आवश्यकता नहीं होती। इसके अतिरिक्त आपक्षिकतावादी और विगत युग का भौतिक ज्ञान ही यह स्वीकार करने हैं कि घटना-आकाश की सम्पूर्ण परम्परा कुछ अवकल समीकरणों की अपरिहार्य लीला के द्वारा नियंत्रित होती है और ये समीकरण ही ममस्त भविष्य का निश्चित कर देते हैं। दिक्-काल का स्वीकार करने में पूरे अनन्त भविष्य में घटनेवाली समस्त घटना-आकाश के अभ्युच्चय का अस्तित्व भी आपक्षिकतावादी स्वीकार करता है और उसके दृष्टिकोण से मानव-बुद्धि की अपूर्णता के ही कारण प्रत्येक प्रेशर दिक्-काल में अवस्थित घटना-अभ्युच्चय के केवल उत्तरात्तरवर्ती लडा का ही प्रेशर कर सकता है और केवल उन्हीं अनुपातों में कर सकता है जिसमें कि उसके नैज काल का प्रवाह होता है।

प्रत्येक प्रेशर के लिए घटना-आकाश को दिक्-काल में मथाधतापूर्वक निर्दिष्ट कर सकने की और कालान्तराल का दिगन्तराल में परिणत कर सकने की सभावना को स्वीकार करके तथा दिक्-काल की धारणा में ही निहित ममस्त वास्तविक सतत^१ का निषेध करके आपक्षिकता के सिद्धांत ने पुराने भौतिक विज्ञान की आधारभूत धारणाओं के परिणामों को पराकाष्ठा तक तो पहुँचा दिया है किन्तु उन धारणाओं का त्याग नहीं किया है। अतः यह कहा जा सकता है कि यद्यपि आइन्स्टाइन की धारणाएँ इतनी नयी और भ्रांतिकारी जान पड़ती हैं तथापि आपक्षिकता का सिद्धान्त एक प्रकार से चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान का ही चरम रूप है।

किन्तु वर्तमान क्वांटम सिद्धान्तों की व्यवस्था विलुक्त दूसरे प्रकार की है। इन क्वांटम सिद्धान्तों के कई महत्त्वपूर्ण लक्षण इस पुस्तक की भूमिका में ही बताये जा चुके हैं और हम कह चुके हैं कि निया के क्वांटम के अस्तित्व में ही यह बात निहित है कि आकाश और बाल में किसी वस्तु के अवस्थापन में और उस वस्तु की गत्यात्मक

अवस्था में निमी न निमी प्रकार का अयायाप्रयत्न है। पूर्ववर्ती भौतिक विज्ञान के इन तथ्यों की जगह-गो भी आसानी नहीं गमपी गयी थी। और आपक्षिकता के विज्ञान के द्वारा आकाश और काल के निर्देशांका में जा सम्बन्ध स्थापित किया गया था जो भी अधिक जाश्चय-जनक परिणाम जगमें से प्रकट हुए हैं। जिससे द्रव्य विद्युत् के स्तर और वेग के योगपन्थि माना जा नापने की असम्भवता इसी ज्योन्याप्रयत्न के परिणाम है। हाइड्रोजनबम के अनिश्चितता के अनुबन्ध^१ इसी असम्भवता का पर्याप्त परिणाम है। और इसका अर्थ यह है कि किसी भी प्रकार के प्रयोगों के प्रमापिता के द्वारा दिव्य-वाणीय अवस्थापन और उन्नी क्षण की गत्यात्मक अवस्था इन क्षणों को निर्णीत करने में समान यथायता प्राप्त करना सम्भव नहीं है।^२ निष्ठायाय प्रश्न पर सूक्ष्म विचार करने से हमें पता हो जाता है कि पूर्ववर्ती भौतिक विज्ञान में प्रयुक्त आकाश और काल का संस्थान (और आपक्षिकीय भौतिक विज्ञान का दिव्य-काल संस्थान भी) क्वांटमीय दृष्टि से एक सन्निकटन मात्र है जो केवल भारी वस्तुओं के लिए ही यथाय समझा जा सकता है। और भारी वस्तुओं से यहाँ हमारे मतलब उन वस्तुओं से हैं जिनमें बहु-संख्यक मूल-कणिकाएँ विद्यमान हैं और इतनी जिनका द्रव्यमान मूल-कणिका के द्रव्यमान की अपेक्षा बहुत ही बड़ा हो। हमारे साधारण अनुभव में प्रत्यक्षत प्रेक्षित सभी वस्तुएँ अवश्य ही ऐसी भारी वस्तुओं के कोटि में आ जाती हैं। यही कारण है कि पूर्ववर्ती भौतिक विज्ञान जिसमें हमारे स्तर पर घटनेवाली घटनाओं का ही अध्ययन किया जाता था, आकाश और काल के उक्त संस्थान से सन्तुष्ट था। किसी भौतिक वस्तु पर खींचे हुए निर्देशांक और साधारण रीति से स्थापित घड़ी के द्वारा आकाश के और काल के ऐसे निर्देशांक निर्णीत किए जा सकते हैं जो पूर्ववर्ती भौतिक विज्ञान की स्वीकृत धारणाओं के अनुसार स्थूल-स्तरीय घटनाओं के लगभग पूणत यथाय विवरण के लिए उपयोगी हो सकते हैं। किन्तु यदि सूक्ष्म-स्तरीय जगत के विकास का विवरण अभीष्ट हो और हम उपयुक्त राशि के निर्णीत आकाश और काल के निर्देशांक के द्वारा मूल-कणिकाओं के इतिहास का वर्णन करना चाहें तो हाइड्रोजनबम की अनिश्चितताओं से हमारी सीधी टक्कर हो जायेगी तथा उन अनिश्चितताओं का अस्तित्व तुरन्त हमें हम बात की सूचना दे देता है कि पूर्ववर्ती भौतिक विज्ञान के जो आकाश और काल मूल स्तर के लिए सुनिर्णीत और पूणत उपयोगी सिद्ध हुए थे वे अनुशा और परमाणुओं के स्तर पर भौतिक तथ्यों के वर्णन

के लिए पूरी तरह उपयुगी नहीं है। किन्तु जितने भी स्क्वैरिंग भावित हूँ मैं ज़रूर ही यह चाहता हूँ कि उन मूल गणिताओं के जगत् का वर्णन भी आकाश और काल के उभरी गम्यमान के द्वारा किया जाय जिस हमारे अंतर्गत के अनुभव न प्रस्तुत किया है। यही उन गणिताओं का कारण है जो क्वांटम सिद्धान्त में हमारे सामने उपस्थित होती हैं और यही कारण है कि क्रिया के क्वांटम की धारणा हम इतनी रहस्यमय जान पड़ती है। चाहे यह सत्य हो कि इस कणिका-जगत् के लिए जाना हुआ काल के पूर्वजनों स्थूल-स्तरीय गम्यमान की अपेक्षा किसी अधिक व्यापक, किन्तु कुछ कम दूर गम्यमान का निर्माण किया जा सके। यह नयी विचारधारा जिसमें क्रिया के क्वांटम का समावेश होना चाहिए और फलतः जिसमें ज्यामितीय और गत्यात्मक पक्षों की पृथक्ता भी पूर्व-युगीन विचारधारा की अपेक्षा कुछ कम होनी चाहिए तभी गतापजनक हो सकती है जब बहुमूल्य कणिकाओं के निकाय के लिए अथवा भौतिक वस्तुओं के लिए हम आकाश और काल की अपनी प्राचीन चिर-अभ्यस्त धारणाओं को बनाये रखें सके। इस दिशा में जीन लुई डिस्टूने¹ ने बड़े राक्षस मार्ग का अनुसरण किया है। यह मार्ग ऐसा है जिस पर से हमारा ध्यान हटना नहीं चाहिए।

चिर-प्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान में भौतिक घटनाओं की नियति जयवा प्राक-निर्णीतता² की धारणा का वास्तविक कारण यह था कि हमने आकाश और काल के सम्बन्ध में कुछ विशेष प्रकार की धारणाएँ बना रखी थीं। यद्यपि आपत्तिवत्ता के सिद्धान्त ने इन धारणाओं में बहुत गहरा परिवर्तन कर दिया था तथापि उसने इतना इतना आदर जवब दिया था कि प्राक-निर्णीतता की प्राचीन धारणा को उसने क्षति नहीं पहुँचायी। किन्तु यह बात क्वांटम सिद्धान्त के लिए सत्य नहीं है क्योंकि हमने किसी भी घटना के विकास का आकाश और काल के गम्यमान में सतत रूप से निर्दिष्ट करने की असम्भवा का स्वीकार करके हमें प्राक-निर्णीतता का पूर्ण रूप से त्याग करने के लिए या कम-से-कम उस धारणा में गम्भीर परिवर्तन करने के लिए बाध्य कर दिया है। स्थूल-स्तरीय जगत् के मूल-अवयवों के विघास और उनकी गत्यात्मक अवस्था के योग-पदिक नान की असम्भवा (जो क्रिया के क्वांटम के अस्तित्व का ही परिणाम है) का प्रभाव ऐसा होता है कि स्थूल जगत् के जो प्रेक्षण हम उत्तरोत्तर कर सकते हैं उनके परिणामों में प्राचीन प्राक-निर्णीतता के सिद्धान्त के अनुरूप पारस्परिक दृढ़ सम्बन्ध स्थापित करने के लिए जितने अवयव आवश्यक हैं उन्हें हम कभी जान ही नहीं पाते।

वस्तुतः वर्तमान क्वांटम सिद्धान्त से तो हमें केवल प्रायिकता^१ के ही नियम प्राप्त होते हैं और उनके द्वारा प्रथम प्रेक्षण का परिणाम मालूम होने पर हम इतना ही कह सकते हैं कि उसके बाद के किसी प्रेक्षण का कोई विशेष परिणाम निकलने की प्रायिकता कितनी है। सूक्ष्म-जगत में दृढ़ नियमों के स्थान में प्रायिकता के नियमों का प्रतिस्पर्धन निश्चय ही इस बात से अड़ित है कि इस सूक्ष्म जगत में आकाश और काल को पूर्ववर्ती धारणाएँ यथाथ नहीं हैं, किन्तु स्थूल-स्तरीय जगत् की वस्तुओं के लिए आकाश और काल को ये धारणाएँ किसी अनन्त-स्पर्शी^२ विधान के अनुसार पुनः यथावत प्रयुक्त कर लेती हैं। और प्राक् निर्णयिता का भी यही हाल होता है जिससे क्वांटमोथ नियमों की प्रायिकता^३ की प्रायिकता निश्चितता में परिणत हो जाती है।

जो कुछ हम यहाँ कह चुके हैं वह यह बताने के लिए काफी होगा कि जिस दिन सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान ने क्रिया के क्वांटमा का उपयोग करने की आवश्यकता को स्वीकार किया था उस दिन उसने कितना बड़ा कदम उठाया था। अब यह बता देना उचित है कि पैंतीस वर्ष पहले यह बात किस प्रकार समझ हुई थी।

२ कृष्ण-वस्तु के विकिरण का सिद्धान्त और प्लांक का क्वांटम^४

क्वांटम-सिद्धान्त का जन्म उन अनुसंधानों से हुआ था जो सन् १९०० ई० के लगभग मैक्स प्लांक ने कृष्ण-वस्तु के विकिरण के सम्बन्ध में किये थे। जब इस सिद्धान्त का विकास उन विधियाँ से करने का प्रयत्न किया गया जो उस समय भौतिक विज्ञान में प्रचलित थी, तब बड़ी कठिनाइयाँ उपस्थित हुई। पहले इसी बात को स्पष्ट कर देना उचित है।

यदि हम किसी ऐसे निमीलित कोष्ठक^५ पर विचार करें जिसका टेम्परेचर स्थिर हो तो प्रबत है कि उस कोष्ठक के अन्दर रहती हुई भौतिक वस्तुएँ विकिरण का उत्सर्जन भी करेंगी और अवशोषण भी करेंगी और अन्त में ऐसा सन्तुलन उत्पन्न हो जाएगा जिसमें द्रव्य और विकिरण के बीच में ऊर्जा के ये आदान और प्रदान बराबर हो जाएँगे। ऊष्मा-गतिकी^६ के मूल नियमों के ही आधार पर किरचाफ^७ ने सिद्ध कर दिया था कि यह सन्तुलित अवस्था अद्वितीय होती है और उस कोष्ठक में निबद्ध विकिरण का स्पष्ट^८ भीय वितरण पूर्णतः मुनिश्चित प्रकार का होता है। इससे अतिरिक्त विकिरण का यह

१ Probability २ Asymptotic ३ Predictions ४ The Theory of Black body Radiation and the Quantum of Planck ५ Max Planck ६ Enckment ७ Thermodynamics ८ Hirschhoff

वितरण कर्ता बाष्पित व टेम्परेचर पर ही अवलम्बित होता है। उम पर बाष्पित की जादृति और विज्ञान का या उममें उत्पन्न भौतिक द्रव्या व गुणा व गुण भी प्रभाव तनी पता और न इन बात का कोई अमर होता है कि बाष्पित की गायों कि द्रव्य का की है। प्रकाश टेम्परेचर व कि य मन्तुति विविरण एव निर्मित रूप का होता है और बहुतो उम उम टेम्परेचर व दृष्ण-यन्तु विविरण का जन्मद तम दिया जाता है।

आ गदागिता भौतिक विज्ञान के कि यर आरम्भ हो गया कि किनी भी निरत टेम्परेचर व दृष्ण-यन्तु विविरण व स्पेक्ट्रमीय वितरण की यह प्रागुक्ति कर मर। प्रारम्भ में ता उम समस्या का ह करत व कि उम उपाया व उपाय किता गया ता मन्तु उमा-गतिवी व गिदागिता पर अवलम्बित व और जिमें द्वा पागन साता कीतना बहुत अधिा थी। ता प्रकाश पर ता यह प्रमाणित हो गया कि दृष्ण-यन्तु विविरण का घनर अयात् तापाय मन्तुल-युवा बाष्पित के भीतर प्रकाश मात्रा जायता में उपलब्ध विविरण उमा ता परमाण परम मापनर स ताप गय टेम्परेचर के चतुथ घान का अनुपाती होता है। यह स्टीफन-बाल्ट्मान का नियम कहता है। इससे बाद अधिा गवधित तव के द्वारा बीन ने प्रमाणित किता कि किसी विषय स्पेक्ट्रमीय जन्तु व दृष्ण-यन्तु विविरण का घात उम आवृत्ति में टेम्परेचर का भाग देने से प्राप्त भजनपत्र के किनी एक फलन तथा उम आवृत्ति के घन (चतुथ) व गुणनप का अनुपाती होना चाहिए। किन्तु दुर्भाग्यवत यह फलन बीन के उमा गतिवीय तव व द्वारा निर्णित नहीं किता जा सकता। स्टीफन और बीन व नियमा ने विविरण के घटन और उमव टेम्परेचर-जनित परिवर्तना के विषय म तो महन्तपूर्ण बातें जान हा गयी और प्रयोग व द्वारा उनका पूरी तरह सत्यापन भी हो गया किन्तु उनके द्वारा स्पेक्ट्रमीय वितरण व नियम का रूप पूणत निश्चित नहीं हो मरा। और अन में ता यह भी मालूम हो गया कि केवल उष्मागतिकीय धारणाओं के आधार पर हमसे अधिा प्रगति हो ही नहीं सरती और स्पेक्ट्रमीय वितरण के नियम के रूप का पूणत निर्णित करने के लिए यह आवश्यक होता कि द्रव्य के द्वारा विविरण के उत्पन्न और अवगापण के सम्बन्ध में कुछ परिवर्तनाएँ बनावर उन्हें इस विवचन में निविष्ट किता जाय। फलत उष्मागतिकी की ठास पृष्ठ भूमि की छाँडकर पारमाणविक परिवर्तनाओं के क्षेत्र में प्रवेश करने का साहस करने की भी आवश्यकता होगी।

किन्तु इस काय में कुछ कठिनाई नहीं हुई क्योंकि विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त ने विशेषकर उसके लोरेन्ज प्रणीत इलेक्ट्रॉनीय रूप में द्रव्य के द्वारा विकिरण के उत्पन्न और अवशोषण की क्रियाओं का ऐसा प्रतिरूप पहले ही प्रस्तुत कर दिया था जो बड़ा कुछ मतोपजनक दिखाई देता था। वीम के विवेचन में जा फलन अनिर्णीत रह गया था वह इस मिश्रात के सूत्र के उपयोग से तुरन्त ही प्राप्त हो गया। आ कृष्ण-वस्तु विकिरण का स्पेक्ट्रमीय वितरण भी पूर्णतः निर्णीत हो गया। किन्तु इस मिश्रात के परिणामों में बड़ी निराशा हुई। स्पेक्ट्रमीय वितरण का जो नियम प्राप्त हुआ (रेले का नियम^१)—उसका प्रयोगात् से समर्थन नहीं हो सका। इस नियम के अनुसार तो आवृत्ति के साथ-साथ स्पेक्ट्रमीय घनत्व में एक-मुखी वृद्धि होनी चाहिए, किन्तु प्रयोगात् से स्पष्ट प्रकट हो गया कि स्पेक्ट्रमीय घनत्व बढ़ते तो घटत-घटत विशेष आवृत्ति पर महत्तम मूल्य को प्राप्त कर लेता है, किन्तु उसके बाद आवृत्ति बढ़ने पर वह घटते-घटते अन्ततः स्वल्प हो जाता है। इस तथ्य का व्याख्यात्मक भाव में जो व्यक्त किया जा सकता है कि स्पेक्ट्रमीय घनत्व का निरूपक ब्रह्म घनत्व होता है। रेले के नियमानुसार आवृत्ति की वृद्धि के कारण स्पेक्ट्रमीय घनत्व का वृद्धि अनन्त होनी चाहिए थी। इस बात से एक विरुद्ध ही अनुमान परिणाम यह निकला कि प्रत्येक टेम्परेचर पर कृष्ण-वस्तु विकिरण का पूर्ण घनत्व^२ अनन्त होना चाहिए।

सैद्धान्तिक प्रागुक्तियों में और प्रायोगिक तथ्यों के इस विरोध से बड़ी विवद परिस्थिति उत्पन्न हो गयी क्योंकि भौतिकज्ञों ने जितना ही अधिक परिश्रम रेल के निरूप के सैद्धान्तिक प्रमाणों पर किया उतना ही अधिक विस्वास उन्हें होता गया कि यह नियम प्राचीन सिद्धान्तों का अनिवार्य परिणाम है। जीस^३ ने जब विकिरण-मूल ब्रह्म के जितनी अग्रगामी तरंगों का अस्तित्व सम्भव हो सकता है उन सब की सख्या का कि प्रतिष्ठित व्यापक मासिकीय नियमों के द्वारा हिमाव लगाया तब भी रेले का नियम ही मान लिया। परन्तु रेले के नियम के अतिरिक्त कृष्ण-वस्तु विकिरण के लिए किन दूसरे प्रयोग-संगत नियमों के आविष्कार की कड़ी भी आता नहीं रह गयी और इस स्पष्ट हो गया कि यह काय प्राकृतिक विज्ञान में कदा नवीन दृष्टिकोण को अन्तर्गत बिना गम्भिर नहीं हो सकता। इस धारणा का गम्भिर स्वरूप का श्रेय मैक्स प्लैंक का मिलता है।

प्लांक ने इस समस्या का पुनर्विवेचन करने का प्रारम्भ जिम परिवर्तन से किया वह यह थी—द्रव्य में अनेक 'इलेक्ट्रानिक दोलक' विद्यमान होते हैं अर्थात् ऐसे इलेक्ट्रान होते हैं जो किसी विस्थापनानुपाती बल के प्रभाव से अपने-अपने सन्तुलन बिन्दु के इधर उधर दोलन कर सतत हैं। प्लांक ने समतापीय वाष्पक के इन दोलकों में तथा उन पर पड़नेवाले विकिरण में ऊर्जाविनिमय के सन्तुलन का अध्ययन किया। और चूँकि इस सन्तुलन विकिरण^१ का सघटन वाष्प में उपस्थित भौतिक वस्तुओं के गुण वर्णों से स्वतंत्र होना चाहिए इसलिए इस विधि के उपयोग से जो परिणाम निकलेंगे उनकी यथार्थता भी व्यापक होनी चाहिए। चिर प्रतिष्ठित विधियाँ सँदालवा और विकिरण के ऊर्जा विनिमय का विश्लेषण करने पर प्लांक का स्वभावतः ही रेले का नियम पुनः प्राप्त हो गया। किन्तु इस विश्लेषण में उह यह भी मालूम हो गया कि इस नियम की अयथार्थता का कारण यह है कि सँदालवा और विकिरण के ऊर्जा विनिमय के चिर प्रतिष्ठित चित्र में उच्च आवृत्तिवाले सँदालवा के प्रभाव का आवश्यकता से अधिक महत्त्व दिया गया है। वास्तव में सन्तुलन विकिरण और उच्च आवृत्तिवाले भौतिक दोलकों के ऊर्जा विनिमय में इस महत्त्व के ही कारण आवृत्ति के साथ साथ स्पेक्ट्रमीय घनत्व की एक सुवी वृद्धि प्रकट होती है और इसी में वे उपयुक्त परिणाम निकलते हैं जो प्रयोगों द्वारा अत्यन्त और तर्क द्वारा अविश्वसनीय प्रमाणित हुए हैं। तब प्लांक के मस्तिष्क में यह प्रतिभापूर्ण विचार उत्पन्न हुआ कि उस सिद्धान्त में चिरप्रतिष्ठित मायताओं से सवथा विपरीत किसी ऐसी धारणा का समाविष्ट करने की आवश्यकता है जो उन उच्च आवृत्तिवाले दोलकों के प्रभाव को नियन्त्रित कर सके। अतः उन्होंने निम्नलिखित विख्यात अभिधारणा बनायी।

“द्रव्य में सँ विकिरण-ऊर्जा का उत्सर्जन केवल परिमित^२ मात्राओं में ही हो सकता है और ये मात्राएँ आवृत्ति की अनुपाती होती हैं।” इस अनुपात का गुणक एक सार्वत्रिक नियतांक^३ होता है जिसकी विमतीय संरचना ठीक यांत्रिक क्रिया^४ की संरचना के समान होती है। यही प्लांक का सुविख्यात नियतांक h है।

इस अदभुत तथा विरुद्धाभासी परिवर्तन का आशय लेकर प्लांक ने पुनः तापीय सन्तुलन की समस्या का अध्ययन प्रारम्भ किया और तब उह कृष्ण-वस्तु विकिरण के स्पेक्ट्रमीय वितरण के एक नवीन नियम का आविष्कार करने में सफलता मिली। इस नियम के साथ अब उनका नाम जुड़ गया है। प्लांक के तर्क के पूर्वपक्ष में कोई भी

1 Oscillators 2 Equilibrium radiation 3 Finite 4 Universal constant 5 Dimensional 6 Mechanical action

ऐसी बात नहीं है जा ऊष्मा-गतिकी के नियमों के विरुद्ध है। अतः एक ओर ताप्लक्ष्य का सूत्र स्टीफन के तथा वीन के नियमों से अलग नहीं है, दूसरी ओर उसका रैले के नियम से मेल केवल नीची आवृत्तियों में और ऊँचे टेम्परेचर पर ही होता है। उच्च आवृत्तियों और नीचे टेम्परेचर पर उसके परिणाम सबका भिन्न प्रकार के हो जाते हैं। यह बात समझना कुछ कठिन नहीं। नीची आवृत्तियों में और ऊँचे टेम्परेचर पर इन्द्र और विकिरण के ऊष्मा विनिमयों में कुछ जटिलतम "ऊर्जा-वर्ण" भाग रहते हैं और उनकी सख्या बहुत अधिक होती है। अतः सब क्रियाएँ लगभग ऐसे ही होती हैं जैसे कि विनिमय सतत^१ प्रकार का हो। इसलिए इस क्षेत्र में चिरप्रतिष्ठित विज्ञान के तथ्यों से भी लगभग सही परिणाम ही निकल आते हैं। विपरीत इसके, उच्च आवृत्तियों और नीचे टेम्परेचर पर ऊर्जा विनिमय में भाग लेनेवाले ऊर्जा-वर्ण बड़े-बड़े होते हैं और उनकी संख्या भी कम होती है। अतः पूर्ववर्ती तथ्यों के उनके लिए अनुपयुक्त हो जाते हैं। यही कारण है कि उच्च आवृत्तियों और नीचे टेम्परेचर के लिए प्लांक का सूत्र सीधे वितरण का नियम रैले के नियम से सबका भिन्न हो जाता है। तापीय सन्तुल्य युक्त कोष्ठ के लिए रैले का नियम तो यह कहता है कि प्रत्येक टेम्परेचर पर आवृत्ति की वृद्धि के साथ-साथ स्पेक्ट्रमीय घनत्व में एक मुती वृद्धि होती है और यह बात प्रयोग विरुद्ध प्रमाणित हुई है। किन्तु प्लांक के नियम के अनुसार यह घनत्व पहले आवृत्ति के साथ बढ़कर एक उच्चतम मूल्य प्राप्त कर लेता है और उसके बाद घटत घटते गति उच्च आवृत्तियों के लिए उसका मूल्य अनन्तत छोटा हो जाता है। प्लांक के नियम के अनुसार इस घनत्व की आवृत्ति के फलन के द्वारा निरूपित करनेवाला वक्र घण्टाकार होता है। फलतः यह समझ लेना भी आसान है कि कृष्ण वस्तु विकिरण के पूरा घनत्व का मूल्य परिमित ही रहेगा। चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त में जो बहुत बड़ी कठिनाई थी वह इस प्रकार दूर हो गयी।

स्पेक्ट्रमीय वितरण के इस नवीन नियम का उन प्रयोगों के सत्यात्मक परिणामों से मिलान करने पर, जिनकी सख्या और यथार्थता जब से भौतिकज्ञों का ध्यान इन प्रश्नों की ओर आकर्षित हुआ था तभी से बराबर बढ़ती जा रही थी प्लांक को यह प्रमाणित करने में अच्छी सफलता मिली कि वास्तविक तथ्यों उनके सिद्धान्त द्वारा प्रस्तुत सूत्र से विलकुल ही मिल जाते हैं, यदि उनके नवीन नियमों का एक पूर्णतः सुनिर्णीत सांख्यिक मान मान लिया जाय। प्लांक के परिवर्तन के अनुसार साधारण

मात्रवा में यह गाम्बिर मान बढ़ा ही छात्र निष्कर्ष। यह ताम्र आचयजान है कि नियता h का गाम्बिर मान बढ़ा ही प्रयत्न में और बरत वृष्ण-धनु विनिर्णय गम्बधी यामा व द्वाग ही एननी अधिर यचायना के माय निरत आया। एगरे धात तो यह नियता h गवया विभिन्न प्रकार की वहुत-मी नौनिर घटनाओं के लिए आवश्यक पाया गया है। अतः इस मान की भी अनेक गवया स्वतंत्र विधियाँ मायम हा गयी है। इन उत्तरात्तर अधिर यचायतापूर्ण विभिन्न मापना ग मदर एगे ही मात प्राप्त हुए हैं जिनमें जीर प्लाक द्वारा बदल एन ही घटना के द्वारा प्रारम्भ म हा प्राप्त विय हुए मान में वहुत ही कम अन्तर है।

सम्भवतः जिस समय प्लाक ने वृष्ण-धनु विनिर्णय के सिद्धान्त पर अपने मूल लेन लिये वे उस समय तत्कालीन भौतिकी नुरन्त ही इस नए घटित प्रान्ति के महत्त्व का अच्छी तरह नहीं समझ पाये थे। निस्सन्देह उस समय उन्होंने प्लाक की परिवर्तना का केवल एक विचार प्रकार की घटना के सिद्धान्त में गुजार करन की चतुर जीर राचन युक्ति मात्र ही समझा हागा जीर उन्हें इस बात का मयाल ही नहीं हुआ हागा कि यह कमलारी परिवर्तना जाग चलकर भौतिक विज्ञान की गमस्त चिरप्रतिष्ठित माय ताया का कायापलट कर दगी। विन्तु धीरे धीरे प्लाक की परिवर्तना का मौलिक महत्त्व प्रकट हाता गया। सिद्धान्तिका ने समझ लिया कि ब्रह्मा की इस परिवर्तना द्वारा प्रस्तुत अगन्तता का केवल उन व्यापक धारणाओं के माय बढ ही नहीं मरता जिन पर उस समय तक भौतिक विज्ञान आश्रित रहा था। अतः उन धारणाओं के आमूल मशीधन की आवश्यकता उन्हें प्रतीत हुई हागी। केवल एक ही भौतिक तथ्य के अध्ययन से पहली ही नजर में प्रवृत्ति के इस मयमे अधिन मौलिक तथा रहस्यमय नियम के आविष्कार के लिए प्लाक की प्रतिभा जीर अतमान की जितनी भी प्रशंसा की जाय वह धानी है। इस अदभुत आविष्कार का हाण चालीस वर्ष म अधिव बीत चुके हैं किन्तु जन भी उसके प्रच्छन्न मम के पूण दान मे हम वहुत दूर हैं और न हम अब तक उसके ममस्त परिणाम का ही जान पाय हैं। मनुष्य की मानविक प्रगति के इतिहास में प्लाक के नियता h की विजय तिवि अवश्य ही चिरस्मरणीय रहेगी।

३ प्लाक की परिवर्तना का विकास तथा क्रिया का ब्रह्मा

तापीय सन्तुलन युक्त विनिर्णय के सिद्धान्त मे प्लाक के तक का आधार यह

सकत है। यह अनुवृत्त उम जायत-गति का लाभान्वित नियमान् होगा। इस नियमान् का प्लांक के नियमान् h के किसी पूर्ण अपरत्य व बराबर रूप तन् म हम क्वाटम परिवर्त्यता की एक नयी परिभाषा प्राप्त हो जाती है और इसमें लाभ यह होता है कि यह परिभाषा एक ही चर राशि द्वारा निर्दिष्ट किसी भी आयतन गति के लिए उपयोग हो जाती है। और हम यह भी जासानी स प्रमाणित कर सकत है कि रविव दाता के नियम प्रमग में इस नयी परिभाषा स प्लांक की पूर्ववर्ती परिभाषा भी पुन प्राप्त हो जाती है। यह कहा जा सकता है कि अपने सिद्धान्त का व्यापक रूप देने के लिए प्लांक ता ऊँचा के क्वाटम की अपनी प्रारम्भिक कल्पना का त्याग देना पड़ा और उसके स्थान में प्रिया के क्वाटम की परिवर्त्यता का प्रतिस्थापित करना पड़ा।

क्वाटम परिवर्त्यता की यथाथ परिभाषा में प्रिया ता प्रादुर्भाव युक्तिगगत भी था और आश्चर्यजनक भी। युक्ति गगत तो था था कि चिरप्रतिष्ठित यात्रिकी ने पहले ही हमिल्टन के सिद्धान्त में तथा यूनितम प्रिया के सिद्धान्त में प्रिया का महत्त्व प्रकट कर दिया था और बरलेपिन यात्रिकी के सिद्धान्त ने जिनमें प्रिया का उपयोग होता है पहले ही क्वाटमीकरण के लिए उपयुक्त ढाँचे का निमाण कर दिया था। इसके विपरीत यह आश्चर्यजनक भी था क्योंकि भौतिक विज्ञान की दृष्टि से यह समय में आना बहुत कठिन है कि प्रिया के जसी राशि का जमूतत्व इतना सुस्पष्ट होने पर भी और उस पर अविवर्तित्व का कोई प्रमेय लागू नहीं होने पर भी उसमें एक प्रकार की परमाणुता संभव हो सकती है। प्रिया सदा दो प्रकार की राशियाँ के गुणनफल के द्वारा व्यक्त की जाती है जिनमें से एक तो ज्यामितीय काटि की होती है और दूसरी गत्यात्मक काटि की। प्रत्येक पहली प्रकार की राशि दूसरी प्रकार की किसी एक राशि के साथ सम्बन्धित होती है और ये ही दोनों राशियाँ बरलेपिन यात्रिकी की प्रधानिकत 'संयुग्मित' चर राशियाँ होती हैं। इस प्रकार मापस्ट्यूटम की 'यूनितम प्रिया का अनुवृत्त प्रमग का समीपयानुवर्ती नियम अनुवृत्त' हो जाता है। नियमान् h की उपस्थिति के द्वारा व्यक्त प्रिया की परमाणुता स तब यह प्रकट होता है कि आयतन और वायु के समान में और त्रि गत्यात्मक घटना स का इस उम समान स जग स विन उन्ने का प्रमेय प्रमेय है उम अयायाभयन विद्यमान होता है। इस जग का अयय का रक्षण नियम सता है और यह नियम प्रतिष्ठित गति नियम सता है।

से सपथा विपरीत है। यही उम परिवर्तना की परम शान्तिशक्ति का कारा है जिसे प्लांक ने अपनी प्रतिभा के जोर से कृष्ण-वस्तु विकिरण के सिद्धान्त का आकार बनाया था।

प्लांक ने सिद्धांततः यह धारणा बनायी थी कि द्रव्य में से विकिरण का उत्सर्जन सदा परिमित मात्राओं में अथवा कण रूप में ही हो सकता है। किन्तु इसका यह अनिश्चय अर्थ नहीं है कि उत्सर्जित हो जाने के बाद भी विकिरण की संरचना अतत्त ही रहती है क्योंकि इस सिद्धान्त का विकास दो भिन्न दिशाओं में किया जा सकता है और उनमें द्रव्य के द्वारा विकिरण के अवशोषण की प्रक्रिया के सम्बन्ध में दो परस्पर विरोधाभासी धारणाएँ बन सकती हैं। पहली धारणा तो यह हो सकती है कि द्रव्य के मूल अवयव (यथा इलैक्ट्रॉनिय दाल्क) गति की दृष्टि से केवल उही अवस्थाओं में विद्यमान रह सकते हैं जिनमें उनकी ऊर्जा क्वांटम मान की होती है और इससे तुरन्त ही यह भी परिणाम निकलता है कि अवशोषण और उत्सर्जन दोनों ही प्रक्रियाओं में द्रव्य और विकिरण का ऊर्जा विनिमय केवल क्वांटमों के द्वारा ही संभव होता है। यही धारणा मदन अधिक सुस्पष्ट और निष्कपट मालूम होती है और अन्त में इसी की विजय भी हुई थी। किन्तु इसमें से यह परिणाम भी अनिवार्यतः निकलता है कि स्वयं विकिरण की संरचना भी असतत होती है। अपनी विचारधारा के इस भीषण परिणाम से डरकर प्लांक दीर्घ काल तक इस बात का प्रबलतम प्रयत्न करते रहे कि क्वांटम सिद्धांत को ऐसे दूसरे रूप में प्रस्तुत कर सकें जो इतना अधिक उमलक न हो और जिसमें केवल उत्सर्जन ही असतत माना जाय, किन्तु अवशोषण सतत ही बना रहे अर्थात् द्रव्य आपतित विकिरण की ऊर्जा के कुछ अंश का संचय तो सतत रूप में ही कर सके, किन्तु उसमें से उत्सर्जन एक एक कर परिमित मात्रावाले अविभाज्य ऊर्जा-भुजों के रूप में ही हो सके। प्लांक के इस प्रयत्न के उद्देश्य को हम आसानी से समझ सकते हैं। वे विकिरण की सततता का अक्षुण्ण रखना चाहते थे क्योंकि जो तरंग सिद्धांत असंख्य अत्यन्त यथावतापूर्ण प्रयोगों के द्वारा सत्यापित हो चुका था उससे सगत विकिरण का केवल यही रूप हो सकता है। यद्यपि प्लांक ने क्वांटम सिद्धांत के इस रूप को प्रस्फुटित करने में अपना समस्त दंड लगा दिया तथापि भौतिक विज्ञान की उत्तरकालीन प्रगति ने इस सिद्धांत की जड़ें ही उखाट फेंकी विशेषकर प्रकाश-व्युत्पन्न प्रभाव¹ की व्याख्या ने और बोह्र के परमाणु की संरचना के सिद्धांत की सफलता ने। इनमें से पहली समस्या के सम्बन्ध

काल में भी विद्यमान होनी चाहिए जब विकिरण का प्रचरण होता है। जन आइंस्टाइन ने यह धारणा बनायी कि समस्त एक-वर्ण¹ विकिरण ऐसे कणों में विभक्त रहता है जिनकी ऊर्जा की मात्रा आवृत्ति की अनुपाती होती है। और स्वभाव प्लांक का नियतांक ही इस अनुपात का गुणांक होता है। इस धारणा से प्रकाश-वर्ण प्रभाव के नियमों को समझना आसान हो गया। जब द्रव्य में विद्यमान किसी इलेक्ट्रॉन पर प्रकाश का एक कण पड़ता है तब वह इलेक्ट्रॉन उस कण की ऊर्जा का अंश शोषण करके द्रव्य के बन्धन से मुक्त हो जाता है। अतः केवल यह है कि प्रकाश-कण का ऊर्जा की मात्रा उस इलेक्ट्रॉन का द्रव्य में से बाहर निकालने के लिए आवश्यक काम की मात्रा में अधिक हो। प्रकाश के प्रभाव से इस प्रकार निकाले हुए इलेक्ट्रॉन में जो गतिज ऊर्जा प्रकट होगी उसका मान अवशोषित प्रकाश कण की ऊर्जा में से वह ऊर्जा बाकी निकाल देने पर प्राप्त होगा जो इलेक्ट्रॉन को द्रव्य में से बाहर निकाल देने के काम में खर्च हो गयी हो। अतः यह गतिज ऊर्जा आपतित विकिरण की आवृत्ति का रैखिक फलन होगी और उस ऊर्जा को आवृत्ति के फलन के रूप में निरूपित करनेवाली रेखा की प्रवणता² का सांख्यिक मान प्लांक के नियतांक के बराबर होगा। ये सब प्रागतिज्ञ प्रयोगों में पूर्णतः सगत निकली है। सबसे पहली प्रागुक्ति ता यह थी कि यदि आपतित प्रकाश की आवृत्ति में परिवर्तन किया जाय तो प्रकाश-वैद्युतिक प्रभाव केवल तब ही प्रकट होगा जब आवृत्ति किसी निदिष्ट मान से अधिक हो जाय। इस निदिष्ट मान का प्रकाश-वैद्युत देहली³ कहते हैं। दूसरे आवृत्ति की जिस परिसीमा में यह प्रभाव प्रकट होता है उसमें प्रकाश-इलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा का मान आपतित प्रकाश की आवृत्ति का रैखिक फलन होता है और यदि इस रैखिक आश्रितता को रेखा बिन्दु में निरूपित करनेवाली रेखा खींची जाय तो उसकी प्रवणता-द्वारेण सख्या प्लांक के नियतांक के बराबर निकलती है। स्पष्टतः ही प्रकाश की इस कणमयी धारणा में प्रकाश की तीव्रता के द्वारा उन ऊर्जा-कणों की सख्या की गणना होती है जो प्रणीत वस्तु के पृष्ठ पर प्रति सेकंड प्रति वर्ग मीटर पड़ते हैं। अतः उस वस्तु के भीतर प्रति सेकंड जितनी प्रकाश-वैद्युत त्रियाएँ सम्पन्न होती हैं उनकी सख्या भी तीव्रता की अनुपाती होना आवश्यक है।

यही प्रकाश-वैद्युत प्रभाव की वह व्याख्या है जो आइंस्टाइन ने १९०५ में प्रस्तुत की थी। उन्होंने 'मनरा' नाम प्रकाश-क्वांटमा⁴ का सिद्धान्त रखा था। आज हम इन

फोटॉन सिद्धांत^१ बताने ह क्याकि प्रकाश के कणा का नाम अब फोटॉन रख दिया गया है। पिछले तीस वर्षों में फोटॉन के अस्तित्व के बहुत से प्रमाण मिले ह। केवल इतना ही नहीं कि दृश्य प्रकाश के प्रकाश-वैद्युत प्रभाव का ही प्रयोगात्मक अध्ययन उत्तरात्तर अधिक यथायथा स किया गया ह और इससे ही आइन्स्टाइन द्वारा अभिप्रेत अनुमान का समर्थन हुआ ह। किन्तु एकस किरण तथा गामा किरण में उत्पन्न प्रकाश-वैद्युत प्रभाव के अध्ययन न ता फोटॉन सिद्धांत के सत्यापन का और भी अधिक यथाय और सुस्पष्ट कर दिया है। एम किरण और गामा किरण की आवृत्तिया दृश्य प्रकाश की आवृत्तिया की अपेक्षा बहुत बड़ी होती ह। अत इनके प्रत्येक फोटॉन द्वारा संचालित ऊर्जा की मात्रा भी बहुत बड़ी होती ह। और विकिरण प्रदीप्त पदार्थ में बहुत गहर और मजबूती से जमे हुए परमाणुओं में से भी ये फोटॉन अपने प्रकाश-वैद्युत प्रभाव के द्वारा इलेक्ट्रॉनों का सीधे निकालने में समर्थ हो जाते हैं। और चूंकि एकस किरण के स्पेक्ट्रम के अध्ययन से हम किसी भी ताप गुण समवाये परमाणु में से आन्तरिक^२ इलेक्ट्रॉन का पथक करने के लिए आवश्यक कार्य का परिचालन बहुत अधिक यथायथा पूर्वक कर सकते ह इसलिए इन किरणों के द्वारा प्रकाश-वैद्युत इलेक्ट्रॉन के निष्कासन के लिए आवश्यक ऊर्जा का परिचालन भी दृश्य प्रकाश की अपेक्षा अधिक यथायथा पूर्वक हो सकता है। अत एकस किरण और गामा किरणों के प्रकाश-वैद्युत प्रभाव के अध्ययन के द्वारा हम आइन्स्टाइन के प्रकाश-वैद्युत समीकरण की यथायथा की बहुत बड़ी परीक्षा कर सके ह और इससे सत्यात्मक सत्यापन में पूर्णता प्राप्त हो गयी ह और प्रकाश-कणों के सिद्धांत की अच्छी पुष्टि भी हुई है। (मारिंस द ब्राग्ली^३ एलिस^४ सीबा^५)

१९२३ में एक और घटना का आविष्कार हुआ था और इसमें फोटॉन के अस्तित्व का एक नया प्रमाण मिला है। यह कॉम्पटन प्रभाव^६ ह। अब हम इसका विषय में कुछ बताना चाहते हैं। यह तो विदित ही ह कि जब विकिरण किसी भीतिन वस्तु पर पड़ता ह तब सामान्यत उसकी ऊर्जा का कुछ अंश प्रकीर्णित विकिरण के रूप में सब दिशाओं में फैल जाता ह। विद्युत चुम्बकीय सिद्धांत के अनुसार इस प्रकीर्णन का कारण यह समझा जाता था कि आपतित तरंग के वैद्युत बल क्षेत्र के प्रभाव में उम वस्तु में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों के प्रेरित^७ दालन^८ होने लगते हैं और तब इन इलेक्ट्रॉनों से से क्षीण द्वैतीयिक^९ गालीय तरंग उत्पन्न होती हैं। इन्हीं के द्वारा प्राथमिक^{१०} तरंग द्वारा

रामो हुई ऊँचा का कुछ अन्त राय दिशाओं में प्रकीर्णित हो जाता है। इस व्याख्या के अनुसार किसी एक-वर्ण^१ प्राथमिक तरंग के प्रभाव से उत्पन्न प्रकीर्णित विकिरण का आवृत्ति ठीक उन्नी प्राथमिक तरंग की आवृत्ति के बराबर होनी चाहिए। अन्य रूप बाल कर ता प्रकीर्णन का यह विद्युत् चुम्बकीय सिद्धान्त इन घटनाओं की व्याख्या के लिए पूर्णतः उपयुक्त ही प्रमाणित हुआ—पहले तो प्रमाण के सम्बन्ध में और फिर एक विरणा के सम्बन्ध में भी। इस सिद्धान्त की प्रागुक्तियाँ का यथायथापूर्ण सत्यापन भी हो गया। किन्तु जब द्रव्य के द्वारा एक विरणा के प्रकीर्णन का अध्ययन अधिक सूक्ष्मता से किया गया तब मालूम हुआ कि विद्युत् चुम्बकीय सिद्धान्त द्वारा प्राप्त अपरिवर्तित आवृत्ति के प्रकीर्णन के साथ ही साथ एक दूसरी प्रकार का प्रकीर्णन भी उत्पन्न होता है जिसकी आवृत्ति उससे कुछ कम होती है और जिसका अतिरिक्त विरप्रतिष्ठित तक के द्वारा समझ में आ ही नहीं सकता। इस नयी घटना की व्याख्या विरप्रतिष्ठित रूप से प्रमाणित करने का, उसके नियमों के सूक्ष्म अध्ययन का और उसकी व्याख्या प्रस्तुत करने का महत्त्वपूर्ण श्रेय अमेरिकन भौतिकज्ञ ए० एच० काम्पटन^२ का प्राप्त हुआ था। काम्पटन द्वारा प्रेषित महत्त्वपूर्ण तथ्य यह था कि कम आवृत्ति के प्रकीर्णित विकिरण की आवृत्ति प्रकीर्णन-कोण^३ के अनुसार ता परिवर्तित होती है, किन्तु प्रकीर्णक वस्तु की प्रकृति पर अवलम्बित नहीं होता। काम्पटन को और लगभग उन्नी समय डिबार्डि^४ को यह बात सूझी कि यदि इस परिवर्तित आवृत्ति के प्रकीर्णन को आपतित फोटॉन और द्रव्य के अन्तर्गत इलेक्ट्रॉन—इन दोनों का ही टक्कर मान लिया जाय तो इस घटना की सतोपजनक व्याख्या हो सकता है। टक्कर के क्षण पर फोटॉन और इलेक्ट्रॉन के बीच में ऊँचा का तथा सवेग का विनिमय होता है और चूँकि सामान्यतः फोटॉन की तुलना में इलेक्ट्रॉन लगभग अचल समझा जा सकता है इसलिए सर्वत्र फोटॉन की ही ऊँचा घट जाती है और इलेक्ट्रॉन की बढ़ जाती है। किन्तु फोटॉन की आवृत्ति उसकी ऊँचा की अनुपाती होती है। अतः टक्कर के क्षण पर फोटॉन की आवृत्ति भी घट जाती है। ऊँचा के तथा सवेग के अविनाशित्व के प्रमेयों पर ही यह सिद्धान्त आधारित है और इसके द्वारा प्रकीर्णन-कोण के परिवर्तन के फलन के रूप में हम प्रकीर्णित फोटॉन की आवृत्तियों को यथायथापूर्वक मालूम कर सकते हैं। प्रयोगों के द्वारा ये ही परिवर्तित आवृत्तियाँ प्रेषित भी हुई थीं। प्रकीर्णन पदार्थ की प्रकृति से इस घटना की स्वतन्त्रता—कम-से-कम जहाँ तक तरंग

१ Mono chromatic २ A. H. Compton ३ Angle of Scattering.
४ Debye

दृश्य के परिवर्तन का सम्बन्ध है—जब बात स स्पष्ट हो जाती है कि यह घटना बसल स्पेक्ट्रम का गुण पर ही अवलम्बित है और ये स्पेक्ट्रम हमारे भौतिक वस्तुओं में मग्न विद्यमान हैं। इस वास्तविक विचार सिद्धांत ने रास्पटन प्रभाव के मग्न जातीय लक्षणों की व्याख्या करने में पूरा और सफाई दी है कि हमें द्वारा पाटन सिद्धांत का भी जातीयता के समर्थन प्राप्त हो गया।

फोटॉनों की धारणा के समर्थन में गमन प्रभाव का आविष्कार भी प्रस्तुत किया जा सकता है। यह आविष्कार रास्पटन प्रभाव के आविष्कार के बाद ही हमें पता हुआ था। गमन प्रभाव में भी परिवर्तित आवृत्ति या प्रवर्णन होता है। किन्तु हमें और रास्पटन प्रभाव में बहुत बड़ा भेद यह है कि हमें प्रवर्णन के क्षेत्र पर हानि का आवृत्ति परिवर्तन मूलतः प्रवर्णन वस्तु की प्रवृत्ति पर अवलम्बित होता है। इस अतिरिक्त बन्धा हमें कुछ प्रवर्णन एका भी होता है जिसमें आवृत्ति बढ़ जाती है। किन्तु घटी हुई आवृत्तिवाले प्रवर्णन की अपेक्षा बड़ी हुई आवृत्तिवाले प्रवर्णन की तीव्रता बहुत ही कम होती है। फोटॉन सिद्धांत इस घटना के मूल लक्षणों की भी बहुत अच्छी व्याख्या कर देता है। ग्रिनेपकर घटी हुई आवृत्तिवाले गमन प्रभाव की अधिकता का कारण तो इस सिद्धान्त में तुरन्त समझ में आ जाता है। चिरप्रतिष्ठित धारणाओं पर आधारित सिद्धान्त इस अधिकता का कारण नहीं बता सकते थे।

संक्षेप में जिस परिवर्तन में प्रकाश ऊर्जा की संरचना क्वांटमय मानी गयी है वह पिछले तीस वर्षों में बड़ी उपयोगी प्रमाणित हुई है और अब इसमें कोई सन्देह नहीं रह गया है कि इसमें भौतिक वास्तविकता का एक आवश्यक पक्ष प्रकट हो गया है। किन्तु इसके कारण कुछ कठिनाइयाँ भी उत्पन्न हो गयी हैं और जब से इस विषय पर आइन्स्टाइन के प्रथम लेख प्रकाशित हुए थे तभी से इसके विरुद्ध आपेक्षा की भी कमी नहीं रही है। हमें पहले तो जिस तरह सिद्धांत का सत्यापन बहुसंख्यक भौतिक प्रकाश-वैज्ञानिक प्रयोगों के द्वारा अत्यंत यथावतपूर्वक हो चुका है उससे साथ प्रयोगों की संरचना की अमूर्तता का मातृत्व किस स्थापित किया जा सकता है? जब व्यतिरिक्त के प्रयोगों में यह प्रकट होता है कि कोई भीटर लक्ष्य मान लेना बिल्कुल वास्तविक संभव है तो हम प्रकाश के अविभाज्य कणों के अस्तित्व की वृत्तों को कम कर सकते हैं? जमा लारटन ने प्रमाणित कर दिया है प्रकाश ऊर्जा का आवृत्ति के विभिन्न विद्युत पर कण रूप में पुनर्निर्माण पर यह सत्य नहीं है कि प्रयोगीय यंत्र (यथा दूरबीन)

की विभेदनशक्ति¹ सम्बन्धी नियमा का युक्ति-मगत जय ममत्र में आ सके। और व्यतिकरण के ना अस्तित्व की ही हम वस ममत्र सकेंगे ? इसमें सन्देह नही कि व्यतिकरण करना सम्भव है कि किसी विशेष प्रकार में सघटित व्युत्पन्न के रूप में प्रकाश की बहुत बड़ी सरया के यौगपदिक आगमन के द्वारा और उनकी पारस्परिक प्रतिक्रिया के कारण वैसी ही आवृत्तिया प्रकट हो सकती है जैसी व्यतिकरण में सिद्ध होता है। किन्तु उस दशा में व्यतिकरण की घटनाओं का प्रकाश की तीव्रता पर अवलम्बित होना चाहिए और यदि यह प्रकाश इतना मन्द हो जाय कि व्यतिकरणप्रयोगों में औसत रूप में किसी भी समय एक फोटोन से अधिक विद्यमान न रहे तो व्यतिकरण का तो रूप ही हो जायगा। ऐसा प्रयोग सबसे पहले टेलर² ने किया था और उसका परिणाम यह निकला कि आपतित प्रकाश कितना ही मन्द क्यों न हो जाय व्यतिकरण का घना में कोई परिवर्तन नहीं होता। किन्तु स्पष्टतः ही इसके लिए आवश्यक था कि फोटोन के प्लेट पर प्रकाश काफी लम्बो दूर तक पड़ता रहे। इसमें प्रमाणित हो जाता है कि प्रत्येक फोटोन अकेला ही व्यतिकरण की घटना का उपपन्न कर सकता है। यदि फोटोन को एक ही बिन्दु पर अवस्थित और अनन्यसम्बन्धित रूप समझा जाय तो यह बात बिल्कुल हो सम्भव में नहीं आ सकती।

और भी दूसरी आपत्तिया है जिनसे प्रकट हो जाता है कि व्यतिकरण का विनाशक प्रमाण धारणा को स्वीकार करना जितना कठिन है। पहले तो प्रकाश के कणमय की जो परिभाषा आइंस्टाइन ने दी है स्वयं उसी में एक अवश्य अवयव "आवृत्ति" विद्यमान है। व्यतिकरण के विनाशक प्रमाण चित्रण में किसी आवश्यक और आवृत्ति का समाधान नहीं किया जा सकता और वास्तव में आइंस्टाइन की परिभाषा में जिस अवृत्ति का कथन है वह तो तरंग सिद्धान्त की ही आवृत्ति है जिसका मात्र व्यतिकरण और विवर्तन की घटनाओं के द्वारा ही प्राप्त किया जाता है। वह तो एक प्रकार का पुनः है जिसके द्वारा प्रकाश के कण पथ जाह्न हिमे गये हैं—एक तो फ्रैन्क³ के समय में सुपरिचित्रित तरंग पथ और दूसरा प्रकाश-वेद्युत प्रभाव के आविष्कार से पुनरावृत्ति प्रमाणित। किन्तु यह कहना प्रमाण यथाय नहीं होगा कि प्रकाश-वेद्युत प्रभाव के आविष्कार से पहले भी बात ऐसी नहीं थी जिसके कारण हमें प्रकाश का कणमय धारणा का गमना करना पड़ता। हम देर ही चुके हैं कि तरंग रेखापर कण प्रमाण से कणमय और गामायन समस्त विज्ञानप्रय ज्यमितीय प्रकाश विज्ञान में

वहाँ-वहाँ हमारा ध्यान आयाग रहा तथा प्राप्ति^१ मिद्वान की ओर आगच्छ पाता था। किन्तु जब प्राग व मिद्वान तत्त्व समझ घटताजा की तरंगमूर्त व्याख्या प्रस्तुत कर दी तब एका जा पया था कि तत्त्वमूर्त धारणा रा जय वा भी प्रयाग नहीं रह गया है। प्रयाग-वद्युत प्रभाव व जातिप्रारंभ म फिर प्रयाग वा तय धारणा पर गेट जान का आवश्यकता प्रतीत हु किन्तु उमी समय जाह्नगान व समीकरण के रूप म ही यह भी प्रकट हा गया कि जय ता तणमय्य और तरंगमय्य धारणाजा वा एका गठ न जय करन की आवश्यकता है किन्ता उम समीकरण त दाता पया ना कुछ भौतिक अय हा गय।

इम प्रयाग में एन और भी अधिक गट कटिनाई की ओर ध्यान गिगाता आवश्यक ह। चिरप्रतिष्ठित धारणाआ में रिमा तय की ऊजा पूजन निर्णीत मात्राकारी रागि समची जानी थी। तूगरी और विविरण व मिद्वान्त में विविरण वा हम वभी भी एन-वण नहीं मान गयन। उमम मया ही एम अवयव विद्यमान रहन ह जिनकी जागृतिर्या एव टाड स्पष्टमयी जतराग म व्याप्त रन्ती ह। यह जतराग जत्यत छादा ता हा मयता ह किन्तु उमरा विस्तार त्रिलुबुग गूय नहीं हा मयता। प्लाव ने अपने विविरण मिद्वान्त के विरचन में एम तय्य पर बहुत ओर निया था। इम लिए आइस्टाइन के समीकरण मे प्रयाग-वण की ऊजा वा चिर प्रतिष्ठित तरंग की आरति और h के गुणनफल के बराबर मानने व कारण यह समीकरण कुछ निरुद्धाभासी हा गया है कयाकि वह एन सुनिर्णीत रागि वा ऐसी रागि के बराबर बना दता ह जा स्वय सुनिर्णीत नहा ह। याग में तरंग-यात्रिकी^२ के विकास मे ही इम कटिनाई का वास्तविक अय स्पष्ट हा मया ह।

सन्धेप में यद्यपि प्रयाग-वद्युत प्रभाव और काम्पटन प्रभाव की व्याख्या के लिए फोटाना की परिवर्तना की उपयोगिता चमत्कारी है तथापि उमम विविरण वा विगुद्ध कणिशामूलक मिद्वान्त नहीं बनाया जा मयता। इमके गिए किमी अधिक व्यापक मिद्वान की आवश्यकता ह जा विविरण वा ऐसा स्वरूप दे मवे जा कणिकामय भी हा और साथ ही साथ तरंगमय भी हा तथा जिसम इन दाता लक्षणा वा सम्प्रथ आइस्टाइन के समीकरण द्वारा व्यक्त हा सये। जय हम इम प्रश्न पर विचार करेम कि तरंग-यात्रिकी ने इन दाता विराधी लक्षणा मे भागत्य स्थापित करने का प्रयत्न कैसे निया ? और इम काय मे उमे सितनी सफलता मिली है।

५. क्वाटम-परिवर्तना के प्रथम उपयोग^१

प्लांक के कृष्ण-वस्तु विविरण के सिद्धान्त और आइन्स्टाइन के प्रकाश-व्युत्पत्ति के सिद्धान्त की सफलता से जिन क्वाटम-परिवर्तना या प्रवृत्त समझ हा गया था उन विविध प्रकार के अनेक क्षेत्रों में अपनी उपयोगिता प्रमाणित करने में दूर नही हया। यहाँ हम इनके कई उदाहरण देंगे।

हम देख चुके हैं कि सांख्यिकीय यांत्रिकी का एक परिणाम ऊर्जा के सम विभाजन का प्रमेय है। इस प्रमेय का व्यापक रूप यह है कि "बहु-संख्यक अवस्थावाला किन्हीं यांत्रिक निमित्तों में जिनका टेम्परेचर सबत्र एक-सा हो और जिसमें तापीय सन्तुलन में विद्यमान हो, तापीय सक्षाम^२ की ऊर्जा स्वतन्त्रता की विभिन्न कान्तियों^३ में बराबर बराबर विभाजित रहती है। चिर प्रतिष्ठित सांख्यिकीय यांत्रिकी के नियमों के बराबर अनु प्रयोग से निगमित इस प्रमेय का प्रायोगिक सत्यापन अनेक बार बहुत अच्छे तरह हो चुका है। इससे गैस के अणुओं और परमाणुओं की मध्यमान गतिज ऊर्जा का यथायथापूर्ण निणय हा जाता है और उनकी विशिष्ट ऊष्मा^४ का भी सामान्य सही मान ज्ञात हा जाता है। फिर भी क्वाटम सिद्धान्त के विकास से प्रकट हो गया है कि यह प्रमेय व्यापक रूप में सत्य नहीं है क्योंकि कृष्ण-वस्तु विविरण के स्पष्ट रूप घनत्वमन्वधी रेले-जींस का अयथाय नियम इसी प्रमेय से प्राप्त किया गया था। प्लांक की क्वाटम परिवर्तना का वास्तविक उद्देश्य ही यह था कि ऊर्जा के सम विभाजन के प्रमेय से छुटकारा मिले। अत यदि प्लांक के विचार सही हा तो कृष्ण-वस्तु विविरण के अतिरिक्त अय क्षेत्रों में भी चिर प्रतिष्ठित नियमों से कुछ विपरीतता प्रकट हान की आशा की जा सकती है।

ऊँस वस्तुओं के सिद्धान्त का ही उदाहरण लीजिए। समानगी ठाँस वस्तु में समान परमाणुओं के अपने-अपने सन्तुलन-स्थान होते हैं जहाँ तापीय विक्षोभ के अभाव में वे अचल रहते हैं। किन्तु तापीय विक्षोभ के कारण ये परमाणु अपने सन्तुलन बिन्दुओं के इधर-उधर दालन करते रहते हैं और ज्यों ज्यों टेम्परेचर बढ़ता जाता है तापीय दालन का आयाम^५ भी बढ़ता जाता है। ऊर्जा के समविभाजन के सिद्धान्त के अनुसार ठाँस वस्तु के सब परमाणुओं की औसत ऊर्जा बराबर होनी चाहिए। पूर्वकाल

१ The First Applications of the Quantum Hypothesis २ Equipartition ३ Thermal agitation ४ Degree of Freedom ५ Specific heat ६ Amplitude

सार्वत्रिक यान्त्रिकी के द्वारा इस जौमत् ऊजा का हिमात्र लगाने से निम्नलिखित सरल, किन्तु व्यापक नियम प्राप्त हुआ था। किन्तु भी ठोस वस्तु की विंगिट पारमाणविक ऊष्मा¹ अर्थात् उस वस्तु की एक ग्राम परमाणु² मात्रा का टेम्परेचर एक डिग्री बढ़ाने के लिए आवश्यक ऊष्मा लगभग ६ कलरी होती है।³ यही ड्यूलांग और पेटिट⁴ का नियम है जिसका प्रायोगिक आविष्कार इन दोनों भौतिकज्ञों ने मैकडॉनल्ट निगमन से पहले ही कर लिया था। साधारण टेम्परेचर पर अधिकतर ठोस वस्तुओं के लिए यह नियम इतना यथार्थतापूर्ण प्रमाणित हुआ है कि इसकी सत्यता मानकर रसायनज्ञों ने बहुधा इसका उपयोग अणुभार का निर्णय करने के लिए किया है। किन्तु यद्यपि ड्यूलांग और पेटिट का नियम बहुधा सत्य पाया गया था तथापि ऐसी बात नहीं है कि वह सर्वत्र सत्य ही निरूपित है। कुछ साधारणतः बहुत बड़े वस्तुओं (यथा हीरा) की विंगिट पारमाणविक ऊष्मा ६ से बहुत कम होती है और यदि टेम्परेचर कम कर दिया जाय तो सभी ठोस वस्तुओं की ऐसी अवस्था आ जाती है जिसमें ड्यूलांग और पेटिट का नियम सत्य नहीं रहता और पारमाणविक ऊष्मा इस नियम द्वारा प्राप्तिमान मान से कम होती है। क्वाटम सिद्धान्त इन सब अनियमितताओं के रहस्य का सतोपजनक रीति से उद्घाटन कर देता है। ठोस वस्तु के परमाणु वस्तु अपने सन्तुलन विन्दुओं के इधर उधर दौलन करते हैं और उन दौलन की आवृत्ति उनके द्रव्यमान और प्रतिस्थापन-बल⁵ की तीव्रता पर निर्भर होती है। क्वाटम सिद्धान्त के अनुसार परमाणु की दौलन-ऊर्जा कम-से कम उसकी आवृत्ति द्वारा निर्धारित एक क्वाटम की ऊर्जा के बराबर तो होती ही चाहिए। यदि तापीय विक्षोभ इतना क्षीण हो कि वह परमाणु को दौलन के लिए आवश्यक क्वाटम कठिनाई से दे सके तो स्पष्ट है कि परमाणु स्थिर ही रहेगा और ऊर्जा का सम विभाजन नहीं हो सकेगा। अधिकतर ठोस पदार्थों के परमाणुओं के लिए तो दौलनोपयोगी क्वाटम इतना छोटा होता है कि साधारण टेम्परेचर के तापीय विक्षोभ से परमाणु को वह आसानी से मिल सकता है। अतः समविभाजन आ जाता है और ड्यूलांग और पेटिट के नियम का पालन आ जाता है। किन्तु हीरे के समान अत्यन्त बड़े पदार्थों के परमाणु अपने सन्तुलन विन्दुओं पर इतनी दृढ़ता से जमे रहते हैं और इसलिए दौलन का क्वाटम इतना बड़ा होता है कि साधारण टेम्परेचर पर समविभाजन सम्भव नहीं हो सक्ता। यही कारण है कि ड्यूलांग और पेटिट के नियम का व्याघात दिखाई पड़ता है। और टेम्परेचर का कम

करने पर अन्त में सभी ठोस वस्तुआ के लिए तापीय विक्षोभ इतना कम हो जायगा कि सब परमाणुआ का आवश्यक दालन-क्वाटम प्राप्त नहीं हो सकेंगे। फलतः परमाणविक ऊष्मा भी नियमित मान से कम हो जायगी।

विशिष्ट ऊष्मा का क्वाटम सिद्धांत पहले आइन्स्टाइन के द्वारा प्रस्तुत किया गया था तथा ननस्ट और लिंडमान² और बाद में डिवाई³, बोर्⁴ तथा कार्मान⁵ के द्वारा विवसित किया गया था। यह क्वाटम की परिकल्पना पर अवलम्बित है और इसके द्वारा ड्यूलांग और पटिट के नियम की सफलताआ और असफलताआ दाता की समान रूप में अच्छी व्याख्या हो जाती है और इन घटनाआ का सामान्य प्रवाह स्पष्ट अच्छी तरह समझ में आ जाता है। इसके अतिरिक्त विशिष्ट-ऊष्मा का क्वाटम सिद्धान्त ज्या-का-त्या गैसों की विशिष्ट-ऊष्मा पर भी लगाया जा सकता है। जिनके कर वह यह भी समझा देता है कि गैस के जटिल अणुआ की आन्तरिक स्वतन्त्रता की कोटिया नीचे टेम्परेचरों पर जकड़ क्या जाती है⁶। चिर प्रतिष्ठित माक्सवेल-बोल्ट्जमैन के बीच यह तथ्य धोष गम्य नहीं था।

पहले-पहल क्वाटम-परिकल्पना के जिनने उपयोग किये गये थे उन सबमें प्रबल समर्थन प्राप्त हुआ था। जब किसी अचर वैद्युत् इलक्ट्रानों की उत्पत्ति प्रति-कैथोड⁷ से होती है तब जो एक्स किरणें उभरने से निकलती हैं उनके सतत सञ्चलन की उच्च सीमा की आवृत्ति के परिकल्पन से भी इस सिद्धान्त को उतना ही समर्थन मिला था। इन सब उपयोगों में क्वाटम-परिकल्पना से जो मूल प्राप्त हुए हैं उनमें निम्नलिखित इस प्रकार विविष्ट रहता है कि इन मूलों का मिलान प्रायोगिक परिणामों से करने पर क्वाटम का मान नापा जा सकता है। इस प्रकार अत्यन्त ही विभिन्न प्रकार की घटनाओं का अध्ययन से जिनके मान प्राप्त हुए हैं उन सबमें आश्चर्यजनक समानता है।

इस प्रकार १९१३ तक प्लांक की प्रतिभाषण और अदभुत धारणा अन्तः ऊष्मा के द्वारा पुष्ट हो गयी थी। इसी समय बोर्⁸ के परमाणु सिद्धान्त का आविर्भाव हुआ और उममें इस धारणा को एक और नया तथा प्रबल समर्थन प्राप्त हुआ और प्रकट हो गया कि द्रव्य की संरचना भी क्वाटमों के ही द्वारा निर्णीत होती है।

¹ Verneer and Linde mann ² Debye ³ Born ⁴ Karman ⁵ Bohr
used 6 Anticathode ⁷ Bohr

ठठा परिच्छेद

बोह्र का परमाणु

१ स्पेक्ट्रम और स्पेक्टमीय रेखाएँ

परमाणु के अन्त्यन्तर प्रदत्त का प्रेरण हम प्रचलित नहीं कर सकत क्योंकि जिन राशिया का अनुभव हमारे लिए सम्भव हो सकता है उनसे बहुत ही छोटे अंग के द्वारा हम इस वापनातीन सूक्ष्म जगत की राशियाँ जानते हैं। अतः परमाणु की संरचना का ज्ञान हमें केवल ऐसी घटनाओं से ही प्राप्त हो सकता है जो उस संरचना पर अवलम्बित भी हैं और मानव-स्तर पर प्रमाण-योग्य भी हैं। ऐसी ही घटनाओं की गिनती में उन प्रकार की प्रेरणा के स्पेक्ट्रम हैं जो तापीय अथवा बहुत विनाशपूर्ण के कारण तत्त्वा^१ के परमाणुओं में से विद्युत् स्थितियों में उत्पन्न होते हैं। वस्तुतः ये उन उत्पन्न परमाणुओं के लायनिक^२ स्पेक्ट्रम हैं और जिन घटनाओं से ये उत्पन्न होते हैं उनका घटना स्थल परमाणु का जन्म-स्थल ही होता है। अतः परमाणु की संरचना के सम्बन्ध में इनसे हमें बहुत कुछ सूचना मिल सकती है। इसी कारण इन स्पेक्ट्रम का अध्ययन और वर्गीकरण भौतिक विज्ञान के लिए बहुत बड़े महत्त्व के कार्य समझे गये हैं।

किंतु यह काम बहुत जटिल नहीं था क्योंकि प्रकाशीय स्पेक्ट्रम बहुत ही जटिल होते हैं और यदि इन अध्ययन का दाय प्रकाश की सीमाओं से बढ़ाकर अवरक्त^३ और परा-वर्णनी^४ प्रदत्त तक विस्तारित करना अभीष्ट हो तो ऐसे विविध प्रकार के प्रायोगिक साधनों और कार्य विधियों का उपयोग आवश्यक होता है जो बहुत धीरे धीरे उपलब्ध हुए। फिर भी इन स्पेक्ट्रम की जटिलता में नई नई कुछ नियमितताओं का ढूँढ निकालना और कुछ प्रायोगिक नियमों का सत्यापन सम्भव हो गया था और इस कारण प्रयोग द्वारा प्रेरित घटनाओं के बहुत विस्तृत समुदाय में कुछ सुश्रुतता भी स्थापित हो गयी थी। सबसे पहला तो यह दिखाई पड़ा कि उन रेखाओं का

1 The Atom of Bohr 2 Chemical elements 3 Characteristic
4 Infra red 5 Ultra violet

विभिन्न अनुक्रमों में विभाजित किया जा सकता है। इन अनुक्रमों के लिए परिभाषित शब्द श्रेणी¹ है। विभिन्न तत्त्वा से सम्बंधित इन श्रेणियों की सरचनाओं में बन्धन सामानताएँ भी पायी गयी हैं। प्रत्येक श्रेणी की विभिन्न रेखाओं में ऐसा पारस्परिक सम्बंध होता है जो गणितीय सूत्रों के द्वारा सरलता से व्यक्त किया जा सकता है। सबसे पहले १८८५ में पारमाणविक हाइड्रोजन के दृश्य स्पेक्ट्रम की समस्त रेखाओं की आवृत्तियाँ या व्यक्त करने के लिए एक गणितीय सूत्र का आविष्कार करने में बामर² का सफलता मिली थी। इस सूत्र में रेखाओं की आवृत्तियाँ एक पूर्णांक के फलन के रूप में प्रकट होती हैं और उच्च पूर्णांक का मान उत्तरोत्तरवर्ती रेखाओं के लिए बढ़ता जाता है। तभी से हाइड्रोजन की यह रेखा-श्रेणी बामर-श्रेणी कहलाती है। दृश्य सीमाओं से बाहर हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रम के अध्ययन से एक पराजंगनी श्रेणी (लाइमान श्रेणी) और कई अवरक्त श्रेणियाँ (पाशन³, ब्रैकेट⁴ और फुड⁵ की श्रेणियाँ) का आविष्कार हुआ। इन श्रेणियों की रेखाएँ भी बामर के नियम के ही सदृश नियमों का पालन करती हैं। हाइड्रोजन से भिन्न अन्य तत्त्वा—विशेषकर क्षारीय तत्त्वा के स्पेक्ट्रमों भी इसी प्रकार की कुछ अधिक जटिल श्रेणियाँ पायी गयी हैं। प्रत्येक श्रेणी की रेखाओं की आवृत्तियाँ बामर के सूत्र से मिलते जुलते सूत्रों के द्वारा निर्दिष्ट हो जाती हैं अर्थात् प्रत्येक आवृत्ति दो पदों⁶ के अन्तर के बराबर होती है जिनमें से एक पद तो अपरिवर्तित होता है और उच्च श्रेणी का लाक्षणिक होता है और दूसरा पद रेखा की क्रम-संख्या के अनुसार बदलता जाता है। स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की आवृत्तियों के इस विशेष प्रकार के गणितीय व्यञ्जकों के कारण बहुधा ऐसा भी होता है कि किसी एक स्पेक्ट्रमीय रेखा की आवृत्ति दो अन्य रेखाओं की आवृत्तियों के जोड़ के बराबर हो जाती है। विभिन्न तत्त्वा के स्पेक्ट्रमों के अध्ययन से स्थापित इन प्रायोगिक नियमों पर विचार करके रिब⁷ ने अपने व्यापक नियम का प्रतिपादन किया। यही अब 'संयोजन नियम'⁸ के नाम से प्रसिद्ध है और यही समस्त ज्वाचीन स्पेक्ट्रम विज्ञान की आधार शिला है।

संयोजन नियम इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है। प्रत्येक प्रकार के परमाणु के लिए एक अनुक्रम⁹ ऐसी संख्याओं का मिल सकता है जिन्हें उस परमाणु के स्पेक्ट्रमीय पद¹⁰ कहते हैं और उच्च परमाणु की प्रत्येक स्पेक्ट्रमीय रेखा की आवृत्ति इनमें से दो स्पेक्ट्रमीय पदों के अन्तर के बराबर होती है। इस संयोजन नियम का समग्र ज्ञान

1 Series 2 Balmer 3 Lyman Series 4 Paschen 5 Brackett 6 Principal 7 Alkaline elements 8 Terms 9 Ritz 10 Principle of combination 11 Sequence 12 Spectral terms

पर वामर व नियम तथा उमी व सद्ग जय नियमा का गणितीय रूप जासूतिया में यागपत्रीय सम्बन्ध का अस्तित्व जाति सभी बातें तुरन्त समझ में आ जाती हैं। इस प्रकार मयाजन नियम की मयना अमल्य स्पष्टद्वितीय तथा व द्वारा अमल्य रूप से प्रमाणित हो चुकी है। किन्तु इस नियम व अस्तित्व का कारण अत्रय ही परमाणु की मरचना में निहित है और उम अच्छी तरह समझने परह में अवश्य ही इस बात का भी आभास मिल सकता है कि इस मरचना के आभ्यन्तर्ग्व परिवर्तन व द्वारा स्पष्टद्वितीय रेखाओं का उत्पन्न परमाणु में व विभिन्न प्रकार होता है। जब सद्धान्तिव भौतिक विज्ञान व समझ गिटु के नियम के मूल कारण का पता लगान और उसके द्वारा परमाणु की मरचना के सम्बन्ध में ज्ञान प्राप्त करने के महत्त्वपूर्ण कार्य का अविश्वस्यत सम्पादित करने की आवश्यकता उपस्थित हुई थी। किन्तु जिन स्पष्टद्वितीय नियमा का प्रेरित तथा में से आविष्कार करने में प्रयागवत्ताओं का इतनी सफलता प्राप्त हो चुकी थी उनके स्पष्टीकरण के लिए दुर्भाग्यवश सद्धान्तिक भौतिक विज्ञान विषय पर प्रतीष्ठित धारणाएँ त्रिलुल ही जन्म प्रतीत हुई। स्पष्टद्वितीय रेखाओं के उत्पन्न की व्याख्या के लिए विद्युत चुम्बकीय सिद्धांत ने वस्तुतः विकिरणात्पादक द्रव्य में दोलनीय विद्युत धर्मों की भाँति के अस्तित्व की कल्पना का सहारा लिया था। यथा उममें यह कल्पना की गयी थी कि परमाणुओं के अंदर इल्लुवदान विद्यमान रहते हैं और वे साधारणतः तो अपने सन्तुलन बिंदु पर ही स्थिर रहते हैं किन्तु किसी प्रकार की उत्तेजना के कारण वे उम बिंदु के इधर उधर जावत दालन करने लगते हैं। परन्तु इस कल्पना के आधार पर आवसित्या के मापन में स्पष्टद्वितीय-रेखाओं के वितरण के जिन नियमा का सद्धान्तिक निगमन हुआ व वास्तविक नियमा से बहुत ही भिन्न थे। चिरप्रतीष्ठित धारणाओं की इसी असफलता को दखन आरी प्वाकरे ने १९०५ में लिखा था कि “स्पष्टद्वितीय रेखाओं के वितरण का दग्ते ही हमारा ध्यान दृष्ट विज्ञान के प्रसन्नदिया^१ की ओर जाता है। किन्तु दाना में बड़ा भारी भेद है। केवल यही नहीं कि तरंगों^२ किसी एक ही सत्या के श्रमागन अपवत्य नहीं होते, किन्तु भौतिक गणित में बहुधा जो बीजातीत समीकरण^३ प्राप्त होते हैं (यथा किसी विशेष आकृति की वस्तु के प्रत्यास्य-कम्पना^४ का समीकरण या किसी विशेष आकृति व वस्तु-दोलक द्वारा उत्पन्न हृत्तीय दालन का समीकरण जयवा किसी ठास वस्तु के गीतन सम्बन्धी फूरियर^५ का समीकरण)

1 Harmonics 2 Wave number 3 Transcendental equations
4 Elastic vibrations 5 Cooling 6 Fourier

उावे समीकरण मूला^१ के सदृश भी हमें कोई चीज यहाँ नहीं मिलता। यन्त्रित सारस्वर तो अवश्य हैं, किन्तु वे हैं मनुष्याभिन्न प्रकार के। इस बात पर हमन ध्यान नहीं दिया है किन्तु मर्यादित विज्ञान ? कि इसी में प्रकृति का एक मनुष्य अधिक महत्त्वपूर्ण रहस्य छिपा हुआ है।^१

“और मेरा विश्वास है कि इसी में प्रकृति का एक सज्ज अधिक महत्त्वपूर्ण रहस्य छिपा हुआ है” इस वाक्य में सचमुच ही भविष्य-ज्ञान का आभास मालूम पड़ता है वह हम देखते हैं कि यह वाक्य के सिद्धांत से दम घप पहले लिखा गया था। क्योंकि बाह्य के सिद्धांत के ही द्वारा तो स्पर्शद्वारा नियमा का वास्तविक अर्थ हमें मालूम हुआ है और उसी के द्वारा हम यह भी समझ गये हैं कि इन नियमों में भौतिक सार्वभौमिकता का पतादमित व्यर्थ निम्न प्रकार निहित है। इसी से यह स्पष्ट प्रकट हो गया है कि जिस भी समस्त आभ्यन्तरिक व्यवस्था और उस व्यवस्था का स्थायित्व क्वाटमा के अन्विष्ट पर ही आश्रित है। क्वाटमा के बिना द्रव्य का अस्तित्व ही संभव नहीं है। यही वह रहस्य है जिसका जिक्र धाकरे ने किया था।

२ बोह्र का सिद्धान्त

जब हम परमाणु के उस क्वाटम सिद्धान्त का वर्णन करेंगे जिसका प्रतिपादन और परिपोषण बोह्र ने १९१३ में किया था। हम देख ही चुके हैं कि उस समय भौतिकी का मुकाबल परमाणु के ऐसे सौर मण्डलीय प्रतिरूप की तरफ हो गया था जिसमें यह माना जाता था कि परमाणु में घन विद्युत् के आविष्ट एक केन्द्रीय नाभिक होता है जिसका द्रव्यमान लगभग परमाणु के पूरे द्रव्यमान के बराबर होता है और जिसके आसपास के कारण ग्रहीय इलेक्ट्रान उसकी परित्रया करते रहते हैं। इस प्रतिरूप की वल्लत सबसे पहले जी। जे. जे. थॉमसन की थी और लाइ रेन्गे और उनके सहयोगियों के प्रयोगों द्वारा इसे प्रकट समयन भी मिल चुका था। इन प्रयोगों से यह प्रमाणित हो गया था कि परमाणु के गम में एक अत्यन्त छोटे विद्युत् के बराबर आकारवाला नाभिक विद्यमान होता है और उसमें विद्युत् का आवेश भी होता है। किन्तु यद्यपि प्रयोग द्वारा इस प्रतिरूप का प्रबल समयन हुआ था तथापि दुर्भाग्यवश विनिर्णय के उत्सर्जन तथा अन्विष्ट कणिकाओं की गति के सम्बन्ध में जो विरप्रतिष्ठित धारणाएँ थीं उनसे इसका विलक्षण ही मेल नहीं बैठता। वस्तुतः स्पष्टतया की रेखाएँ लगभग एक वर्णीय^१ होता है और

उनकी आवृत्तियाँ अपरिवर्ती हानी ह। 'ग' भौतिक तथ्य के कारण चिरप्रतिष्ठित धारणाओं से अभिभूत भौतिकज्ञों का यह मानना पड़ा था कि परमाणु के भीतर की आविष्ट गणितार्थ-इलेक्ट्रॉन-माधारणन ऐसे स्थान पर अवस्थित होती ह जहां उनका सन्तुलन स्थायी होता ह और यदि उन्हें उम स्थान में रखा दिया जाय तो वे पुन वहां लौट जाने का प्रयत्न करती ह। यदि बार्ड इलेक्ट्रॉन किसी भी वास्तविक व द्वारा अपने सन्तुलन बिन्दु में निश्चायित कर लिया जाय तो वह अवश्य ही उम बिन्दु पर स्थिर निश्चित जायति में दान्न करने योगे। और उमजन व विद्युत चुम्बकीय मिद्धात के अनुसार उनमें में एक मुनिर्णीत आवृत्तिवाली विद्युत चुम्बकीय तरंग उत्पन्न हाकर चारा चार फरने लगगी। इसमें उस इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा धीरे धीरे घटती जायगी। और अन्त में वह अपने सन्तुलन बिन्दु पर आपर स्थिर हो जायगा। इस प्रकार स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की एक-वर्णता और परमाणु संरचना का स्थायित्व इस दाना ही दाना की समुचित व्याख्या हो जायगी। किन्तु परमाणु के सौर मंडलीय प्रतिरूप के द्वारा ऐसी व्याख्या संभव नहीं हुई क्वाकि 'कपलीय' कथा पर परिभ्रमण करने वाले इलेक्ट्रॉनों के परिभ्रमण की आवृत्ति उनकी ऊर्जा पर अवलम्बित होनी चाहिए। और इसी ऊर्जा के अनुसार परिवर्तित भी हानी चाहिए। अतः यदि विकिरण का चिरप्रतिष्ठित मिद्धात परमाणु पर लागू हा तो इन ग्रहीय इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा उत्तरांतर घटती जानी चाहिए और उनमें में उत्पन्नित हानेवाले विकिरण की आवृत्ति सतत रूपसे परिवर्तित हानी जानी चाहिए तथा अन्त में उन इलेक्ट्रॉनों को नाभिक में गिरकर उसके वैद्युतिक आकर्षण को विलुप्त कर देना चाहिए। इस प्रकार चिरप्रतिष्ठित मिद्धात का उपयोग परमाणु के सौर-मंडलीय प्रतिरूप में करने पर न तो स्पेक्ट्रमीय रेखाओं के एकवर्णत्व की सीमासा हा संवती है और न परमाणु के स्थायित्व की। नील्स बोह्र^१ ने जब अपने अनुसंधानों का प्रारम्भ किया था तब उन्हें इसी कठिनाई का सामना करना पड़ा था।

बोह्र को इस बात का बड़ा भारी श्रेय है कि उन्होंने परमाणु के सौरमंडलीय प्रतिरूप में क्वांटम मिद्धात की मूळ धारणाओं को समाविष्ट करने की आवश्यकता को समझ लिया था। हम जानते ह कि इन धारणाओं के अनुसार यह मानना पड़ता है कि चिरप्रतिष्ठित यानिकी द्वारा अनुमोदित अमरय संभव गणितों में से केवल थोड़ी सी ही क्वांटमित^१ गणित स्थायी हानी है और प्राकृतिक जगत् में केवल उही का अस्तित्व

संभव है। हम दब चुके हैं कि जिस वस्तु की आवतगति एक ही चर राशि द्वारा निर्णय हो सकती है। उसकी क्वाटमित गतिया को निर्णय करने के लिए प्लान ने एक व्यापक नियम का आविष्कार किया था। जिस समय उन्होंने अपना पहला रूप लिखा था उस समय यह नहीं मालूम था कि जो आवत-गतिया एक से अधिक चर राशियों द्वारा निर्दिष्ट होती हैं उन्हें क्वाटमित करने की विधि क्या है, किन्तु इस बात की वही भविष्य बना दिखाई देने लगी थी कि ऐसी व्यापक अवस्था में भी क्वाटमित करने की विधि जल्दी ही ज्ञात हो जायेगी। इसी कारण बोह्र के लिए परमाणु के आन्तरिक इलेक्ट्रॉनों की गति का क्वाटमित मानना संभव हो गया और वे इस परिणाम पर पहुँचे कि प्रत्येक परमाणु की कुछ स्थायी क्वाटमित अवस्थाएँ—स्थायी अवस्थाएँ होती हैं और इन मान लिया जा सकता है कि परमाणु सदा इन्हीं में से किसी एक स्थायी अवस्था में स्थित मान रह सकता है। और चूँकि प्रत्येक अन-य-संपादित परमाणु स्वयंसे निकलकर समाप्त जा सकता है, अतः प्रत्येक स्थायी अवस्था की ऊर्जा का एक नियत क्वाटमित मान होता है और प्रत्येक परमाणु की विभिन्न संभव स्थायी अवस्थाओं की ऊर्जा के क्वाटमित मानों का भी एक अनुक्रम होगा। इस प्रकार प्रत्येक तत्त्व के परमाणु के साथ सत्यापन का एक ऐसा अनुक्रम सम्बद्ध होगा जिससे उस परमाणु की विभिन्न संभव संरचनाओं का ऊर्जा ज्ञात हो सकेगी।

तक की प्रगति में इस स्थान पर पहुँचते ही यह स्पष्ट हो जाता है कि उनमें परिवर्तन में और संयोजन नियम द्वारा प्राप्त स्पेक्ट्रमीय पदों के अस्तित्व में पूर्ण अच्छी समानता है। स्पेक्ट्रमीय पदों और रिटर्न के नियम की क्वाटमीय व्याख्या के लिए केवल इतना ही मान लेना काफी है कि स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की आवर्तियाँ उन परमाणु की ऊर्जा के दो क्वाटमित मानों के अन्तर की अनुपाती होती हैं। बोह्र के समय परमाणु के क्वाटम सिद्धांत में यह परिक्ल्पना अत्यंत स्वाभाविक रूप से ही प्रयुक्त हुई थी। और चूँकि परमाणु की क्वाटमित अवस्थाएँ स्थायी होती हैं इसलिए जब परमाणु ऐसी अवस्था का प्राप्त कर लेता है तब उसमें से कोई विकिरण उत्सर्जित भी नहीं हो सकता। स्पष्टतः ही यह परिणाम विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त की प्रागुक्ति का विरोध है क्योंकि क्वाटमित अवस्था में भी इलेक्ट्रॉन ग्रह सदैव पथा पर परिभ्रमण करते हैं और उनमें बराबर बहुत बड़े त्वरण मौजूद रहते हैं। किन्तु यह परिणाम क्वाटमीय सिद्धांत की धारणा से संगत है। इससे यह भी प्रकट है कि स्पेक्ट्रमीय रेखा उस

उत्पन्न होती है जब परमाणु एक क्वाटमित अवस्था में दूसरी में सन्नमण¹ करता है और उसकी ऊर्जा घटती है। इसी लिए बोह्र ने यह मान लिया कि प्रत्येक स्पेक्ट्रमीय उत्सर्जन का उद्गम वह आवर्त्मिक सन्नमण होता है जिसमें परमाणु एक स्थावर अवस्था में कूदकर दूसरी में पहुँच जाता है और तब ही उसमें से कुछ ऊर्जा विकिरण के रूप में निकल जाती है। इसके अतिरिक्त क्वाटम सिद्धांत में यह मानना तो स्वाभाविक ही है कि ऊर्जा क्वाटमा के रूप में—फोटॉन के रूप में—ही उत्सर्जित होती है। अतः सन्नमण के क्षण में विकिरण-ऊर्जा के एक क्वाटम का उत्सर्जन होता है और इसका परिमाण परमाणु की प्रारम्भिक स्थावर और अंतिम स्थावर अवस्था की ऊर्जाओं के अंतर के बराबर होता है। और इससे निम्नलिखित नियम तुरंत प्राप्त हो जाता है जिसका प्रस्थान नाम “बोह्र का आवर्ति नियम” है। जब परमाणु किसी स्थावर अवस्था k से किसी दूसरी स्थावर अवस्था l में सन्नमण करता है तब जो स्पेक्ट्रमीय रेखा उत्सर्जित होती है उसकी आवर्ति k तथा l अवस्थाओं की ऊर्जाओं के अंतर में प्लांक के नियतांक h का भाग देने से प्राप्त भागफल के बराबर होती है।” इस आवर्ति नियम के अनुसार परमाणु के स्पेक्ट्रमीय पद उस परमाणु की स्थावर अवस्थाओं की ऊर्जाओं में h का भाग देने से प्राप्त मर्याद के बराबर होने हैं और इस बात से संयोजन नियम के रहस्य का उद्घाटन हो जाता है।

संक्षेप में ग्रहीय परमाणु के क्वाटम सिद्धांत का बोह्र ने निम्नलिखित दो आधारों पर खड़ा किया है। (1) प्रत्येक परमाणु की स्थावर अवस्थाओं का एक ऐसा अनुक्रम होता है जो उसकी क्वाटमिन गतियों को निरूपित करता है और जिसका परिवर्तन गणना प्लांक की विधि से हो सकती है। परमाणु का भौतिक अस्तित्व केवल इन्हीं अवस्थाओं में संभव हो सकता है। (2) परमाणु की स्पेक्ट्रमीय रेखाओं का उत्सर्जन उन्हीं समय होता है जब परमाणु का एक स्थावर अवस्था से दूसरी में सन्नमण होता है और उन रेखाओं की आवर्तियां आवर्ति नियम के द्वारा निर्णीत होती हैं।

इसके बाद जो काम करना आवश्यक था वह यह था कि विभिन्न परमाणुओं की स्थावर अवस्थाओं की ऊर्जाओं के मान परिवर्तन द्वारा प्राप्त किये जायें। मरल्लम उदाहरण हाइड्रोजन का है जिसका परमाणु नमक² १ है। इस परमाणु में केवल एक ही ग्रहीय इलेक्ट्रॉन होता है जो कपलरीय पथ पर नाभिक की परिक्रमा करता रहता है। किन्तु इस सरल समस्या की भी पूर्ण भीमामा करने में बोह्र को अपने

प्रथम प्रयास में सफलता नहीं मिल सकी। 'इंपल्सीय गति' का निर्णय करने के लिए दो चर-राशियाँ की आवश्यकता होती है, यथा, सदिश त्रिज्या^१ और ग्रह का द्रिग^२। उस समय तब एक चर राशि द्वारा निर्णीत गति के अतिरिक्त अन्य गतियों का वर्णन करने की विधि मालूम नहीं थी। इस कठिनाई को दूर करने के लिए बाह्य न पृष्ठ केवल वृत्ताकार केंपल्सीय गति पर ही विचार किया क्योंकि इसमें सदिश त्रिज्या अचर रहती है और अवैला दिगंश ही चर समझा जा सकता है। तब स्वावर वृत्ताकार पथ के लिए त्रिज्या के चर्रीय अनुजल^३ का नियतांक h के किमी पूरा अपवर्त्य क बराबर मानकर बाह्य ने इन स्थावर पथों की ऊर्जा का एक पूणाव^४ के फलन के रूप में व्यक्त कर दिया जिसमें पूणाव का मान १ से अनन्त^५ तक बदल सकता है। तब ऊर्जा के इन मानों में h का भाग देने से हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रमीय पद प्राप्त हो गए और उनमें विभिन्न स्पेक्ट्रम-श्रेणियों की आवृत्तियों को व्यक्त करनेवाला सूत्र भी प्राप्त हो गया। इस प्रकार बामर का सूत्र तथा उसके ही सदृश लाइमान, पाशन आदि क सूत्र भी जनायास ही अविकल रूप में प्राप्त हो गये। और यह भी नहीं कि इन सूत्रों का वक्र रूप मात्र ही प्राप्त हुआ है। उनके सत्यात्मक मान भी यथाथ निकले। बामर सूत्र में और तत्समान अन्य सूत्रों में भी एक नियतांक रहता है जिसका नाम स्पेक्ट्रम वैज्ञानिकों ने रिडबर्ग नियतांक^६ रख दिया है और दीर्घ काल पहले ही इसका मान अत्यन्त यथायथापूर्वक नाप लिया गया था। बोह्र के सिद्धांत में इस नियतांक का मान इलेक्ट्रॉन के आवेश और द्रव्यमान तथा प्लांक के नियतांक इन तीन मौलिक नियतांकों के द्वारा व्यक्त हो जाना है। अतः बोह्र के सिद्धान्त के द्वारा रिडबर्ग नियतांक के मान का परिकलन प्रेक्षण से पहले ही^७ हो सकता है और इस गणना से ठीक वही मान प्राप्त होता है जिसे स्पेक्ट्रम-वैज्ञानिकों ने स्पेक्ट्रमीय रेखाओं को नापकर प्राप्त किया था। यह पारिमाणिक अनुरूपता बोह्र के परमाणु सिद्धान्त की बहुत बड़ी सफलता है और इसने प्रमाणित कर दिया कि बोह्र द्वारा निर्दिष्ट भाग ही सही रास्ता है।

किन्तु बोह्र को इस विचक्षण प्रारम्भिक सफलता से सतोष नहीं हुआ। उन्होंने अपने सिद्धांत का उपयोग आयनित हीलियम के लिए भी किया। मंडलीक^८ की जिस सारणी में सब तत्त्व वर्तमान परमाणु भार के अनुक्रम से विव्यस्त हैं उसमें हीलियम का स्थान दूसरा है। उसका परमाणु क्रमांक^९ २ है और ग्रहीय प्रतिरूप क अनन्त

1 Radius vector 2 Azimuth 3 Cycle integral of action 4 Infinity
5 Rydberg constant 6 A priori ~ Ionised helium 8 Mendeleeff
9 Atomic number

हीलियम के परमाणु में प्रोटान में दो गुणें बहुत आनेवाली हैं नाभिक और दो ग्रहीय इलेक्ट्रान होते हैं। अब हीलियम के परमाणु की क्वांटम गिनती का निर्णय करने की गणितीय समस्या बहुत जटिल है क्योंकि यह तीन वस्तुओं की यात्रिक समस्या है। किन्तु यदि किसी बाह्य शक्ति के कारण हीलियम परमाणु में एक इलेक्ट्रान निकल जाय तो समस्या सरल हो जाती है। तब हीलियम परमाणु आयनित हो जाता है और उसमें केवल एक ही इलेक्ट्रान रह जाता है और इसकी यात्रिक समस्या हाइड्रोजन परमाणु की समस्या के समान ही हो जाती है। अतः केवल यह रह जाता है कि हमारे नाभिक का बहुत आनेवाला गुण क्या है। इस मुद्दे से बाह्य न निवृत्त किया कि आयनित हीलियम की स्पष्टीकीय रणनीति भी वामर के नियम के समान ही नियमों का पालन करेंगी किन्तु इन नियमों में रिडबर्ग नियमों का ४ स गुणा करना पड़ेगा। इसमें बाह्य इस परिणाम पर भी पहुँचे कि जिस पिरिफेरि-थेनी का आविष्कार कई तारा के स्पेक्ट्रम में हुआ था और जिसका उद्गम गलती से हाइड्रोजन परमाणु समझा गया था उसका वास्तविक उद्गम आयनित हीलियम है। इसी प्रकार परमाणु के क्वांटम सिद्धांत के द्वारा ऐसे बहुत से स्पेक्ट्रमीय तथ्यों का स्पष्टीकरण हो गया है जिनकी व्याख्या पहले संदिग्ध समझी जाती थी।

इसके अतिरिक्त बाह्यको एक छोटे में, किन्तु अत्यंत विचित्र तथ्य के स्पष्टीकरण में भी सफलता प्राप्त हो गयी। प्रायोगिक प्रेक्षणों से प्रकट होता है कि आयनित हीलियम के लिए उपयुक्त गुणक ४ के द्वारा सशोधित रिडबर्ग नियमों का मान ठीक उतना नहीं होता जितना कि हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रम के लिए होता है। इस विभेद का कारण बाह्य ने यह बताया कि परमाणु के नाभिक पर भी ग्रहीय इलेक्ट्रानों की कुछ प्रतिक्रिया होती है और इसलिए वह पूर्णतः जचल नहीं रहता। मूल सिद्धांत में नाभिक को जचल जानपण-केन्द्र माना गया था। अतः उस सिद्धांत का केवल प्रथम सन्निकटीकरण ही सम्मानना चाहिए। और परिकल्पना में नाभिक की इस गति के प्रभाव का भी सम्मिलित करना चाहिए। नाभिक जितना ही हल्का होगा उतना ही अधिक महत्व इस संशोधन का होगा। जब परिकल्पना अधिक यथार्थतापूर्वक किया गया तो एक सशोधक पद प्राप्त हुआ जिसका मान इलेक्ट्रान के तथा नाभिक के द्रव्यमानों के अनुपात पर अवलम्बित होता है। हीलियम का नाभिक हाइड्रोजन के नाभिक की अपेक्षा लगभग चार गुणा भारी होता है। इसलिए यद्यपि हाइड्रोजन और हीलियम दोनों के

ही लिए इस प्रकार परिवर्तित मशीनक पद छोटा होगा, फिर भा वह हालियम का अपेक्षा हाइड्रोजन के लिए काफी अधिक बड़ा होगा। इस बात से अच्छी तरह समझ में आ जाता है कि रिडबर्ग-नियताक का मान इन दोनों पदार्थों के लिए बराबर मपा नहीं है। बोह्र के परिवर्तन के अनुसार जितना अन्तर दोनों में होना चाहिए प्रयोग द्वारा भी ठीक उतना ही मिलता है।

बोह्र के परमाणु सिद्धांत के द्वारा हाइड्रोजन और हीलियम स भिन्न अणु तत्त्वा के प्रवासीय स्पेक्ट्रमा की संरचना भी स्थूल रूप से समझ में आ जाती है। इसमें सन्देह नहीं कि जब हम बोह्र की परिवर्तन विधि का उपयोग एक से अधिक इलेक्ट्रान वाले परमाणुओं पर करना चाहते हैं तो अनिवार्यतः बड़ी कठिनाई का सामना करना पड़ता है। एक ओर तो समस्या जटिल और असाध्य हो जाती है और दूसरी ओर क्वांटमीकरण के नियमों का उपयोग संशय-ग्रस्त हो जाता है। फिर भी समस्त तत्त्वा के स्पेक्ट्रमा में व्यापक समानता है और उन सब के ही श्रेणी सूत्रों में रिडबर्ग नियताक भी विद्यमान रहता है। इससे स्पष्ट ज्ञात होता है कि इन सब स्पेक्ट्रमा में गुण पारस्परिक सम्बन्ध है और इसलिए यह विश्वास भी दृढ़ हो जाता है कि जो विधि हाइड्रोजन के सम्बन्ध में इतनी सफल प्रमाणित हुई है वही अन्य तत्त्वा के लिए भी उपयोगी होनी चाहिए। बोह्र के अनुसार हम निम्नलिखित व्यवस्था का उपयोग कर सकते हैं जो निम्न सन्देह बहुत ही अपरिच्छिन्न है। मान लीजिए कि परमाणु प्रमाण Z वाला अणु यनित^१ परमाणु के नाभिक को घेरे हुए एक केन्द्रीय प्रणेश है जिसमें $(Z-1)$ इलेक्ट्रान विचरण करते हैं और Z वा इलेक्ट्रान इस 'इलेक्ट्रानिक शव'^२ की परिभ्रमा करता है। इसी Z -वें इलेक्ट्रान का एक स्थावर अवस्था से दूसरी में सन्तुलन होना उस परमाणु का स्पेक्ट्रम प्रकट होता है। नाभिक और इस शव का सम्मिलित प्रभाव प्रथम सन्तुलन तक कूलम्बीय बल-क्षेत्र के तुल्य ही रहता है और इसी से स्पेक्ट्रमीय पदों की हाइड्रोजन के पदों के अनुरूपी^३ हो जाते हैं। इस प्रकार सब प्रकाशीय स्पेक्ट्रमा की समानता की व्याख्या—अवश्य ही बहुत स्थूल व्याख्या—संभव हो जाती है।

इसी विचारधारा का अनुसरण करके हम एकसं किरणों के स्पेक्ट्रमा के स्वभाव को भी समझ सकते हैं। इनमें भी मुख्यतः वही लक्षण दिखाई देते हैं जो प्रकाशीय स्पेक्ट्रमा में वतमान होते हैं। हम इस विषय के विस्तृत विवेचन में फँसना नहीं चाहते। इतना ही कह देना काफी होगा कि बोह्र के विचारों की सहायता से एक

किरण-स्पेक्ट्रमा का महान नियम—मोसले का नियम^१ भी हमारी समझ में आ जाता है। प्रकाशीय स्पेक्ट्रम रेखाओं के समान ही रटजन किरणों^२ के स्पेक्ट्रमा की रेखाएँ भी श्रेणियाँ में विभाजित होती हैं और इन श्रेणियों की सामान्य रचना सब तत्त्वा के लिए एक-सी ही होती है। जब १९१० में लावे^३ फ्रीडरिख और निपिंग^४ ने निस्टल-सजात एक्स किरण विवर्तन^५ का आविष्कार कर लिया और हम एक्स किरणों का तरंगदैर्घ्य यथायथापूर्वक नापने में सफल हो गये तब इंगलड के युवक वैज्ञानिक मोसले^६ का ध्यान इस बात पर गया कि यदि विभिन्न तत्त्वा के स्पेक्ट्रमा की समधर्मी^७ रेखाओं पर गौर किया जाय तो वे रेखाएँ विस्थापित^८ दिखाई देती हैं और हमें ज्ञात हो जाता है कि आवर्तियों के मापन में इन रेखाओं का विस्थापन लगभग परमाणु-समाक के वर्ग का अनुपाती होता है। दूसरे शब्दों में यदि किसी तत्त्व का परमाणु-समाक किसी अन्य तत्त्व से दो गुणा बड़ा हो तो प्रथम तत्त्व की किसी स्पेक्ट्रमीय रेखा का आवर्ति विस्थापन द्वितीय तत्त्व की उन्नीस रेखा के आवर्ति विस्थापन से चार गुणा बड़ा होता है। बोह्र सिद्धांत के सूत्रों से यह परिणाम सहज में ही निकल आता है कि एक्स किरणों के क्षेत्र में समस्त स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की आवर्तियाँ तत्त्वा के अनुक्रम में लगभग परमाणु-समाक के वर्ग के अनुसार परिवर्तित होती हैं—कम से कम प्रथम और बहुत स्थूल सन्निकटन तक। इस प्रकार मोसले का नियम युक्ति सगत सिद्ध हो जाता है और बोह्र के परमाणु सिद्धांत की आविष्कारक शक्ति का सभी स्पेक्ट्रमीय क्षेत्रों में परिचय मिल जाता है।

३ बोह्र के सिद्धांत का परिपाक और सामरफेल्ड का सिद्धांत^९

गणितीय विचारों की दृष्टि से बोह्र के सिद्धांत में एक बड़ी कमी थी। हाइड्रोजन परमाणु के सरलतम प्रयोग में भी उससे केवल वृत्ताकार पथों की क्वांटित ऊर्जाओं का परिचय हो सकता है। दीर्घवृत्तीय पथों के लिए उसका उपयोग नहीं किया जा सकता। इस असमर्थता का कारण यह है कि उसमें क्वांटमीकरण की विधियों का पदार्थ विचार नहीं हुआ था। प्लांक द्वारा निर्दिष्ट क्वांटमीकरण विधि तो केवल उन्हीं गतियों के लिए मप्रयोज्य है जिनके वर्णन के लिए केवल एक ही चर राशि काफी होती है। बोह्र के सिद्धांत के विकास में पूरना लाने के लिए निम्नलिखित समस्या

1 Mosley's Law 2 Rontgen rays 3 Laue 4 Friedrich and Knipping, Diffraction 5 Mosley's "Homologous" 6 Displaced 7 Perfecting of the Theory of Bohr The Theory of Sommerfeld

को हल करना अनिवार्य था। एक से अधिक स्वातन्त्र्य-कोटि^१ वाले यान्त्रिक निकायों के लिए उपयुक्त क्वांटमीकरण की विधि क्या है ?

इस समस्या का १९१६ में विल्सन और सामरफेल्ड^२ ने लगभग एक हास हल कर लिया। उन्होंने यह देखा कि जिन यान्त्रिक निकायों से क्वांटम सिद्धान्त सम्बन्ध है वे सब ऐसे आवर्त कक्ष^३ निकाय होने हैं जिनमें चरा का पथकरण^४ सन्तुष्ट होता है। ऐसे निकायों के सब विविध चर आवर्ततः परिवर्तित तो होते हैं, किन्तु साधारणतः उनके आवर्तकाल भिन्न भिन्न होते हैं। इसके अतिरिक्त यदि चरा का पथकरण या निर्वाचन यथाचित हुआ हो तो क्रिया के अनुकूल को ऐसे अलग-अलग अनुकूलों में विभक्त किया जा सकता है जो केवल एक एक चर पर ही अवलम्बित हैं। प्रत्येक ऐसे अनुकूल की सीमाओं का विस्तार करके तत्सम्बन्धी चर के पूरे आवर्तन के लिए उसके मान का परिवर्तन करने से जो राशि प्राप्त होती है उसे 'क्रिया के अनुकूल का चार्जिक आवर्तन'^५ कहते हैं। स्पष्टतः ही जितनी चरा की संख्या होती है उतनी ही संख्या इन आवर्तनों की भी होती है। तब उस निकाय की गतियों के क्वांटमाकरण के व्यापक नियम को प्राप्त करने के लिए इतना ही काफी है कि प्रत्येक चार्जिक आवर्तन को नियतांक h के किसी पूर्ण अपवर्त्य के बराबर रख दिया जाय। यदि चरों का एक ही हो तो इसी नियम से प्लांक का नियम भी प्राप्त हो जाता है।

जिस विल्सन-सामरफेल्ड क्वांटमीकरण विधि की स्थूल रूपरेखा हमने पढ़ाई है उससे उन सब समस्याओं की भीमासा हास सकती है जो बोह्र के परमाणु सिद्धान्त के सामने उपस्थित हो गयी थी। यह सही है कि यदि परमाणु की जटिलता बहुत ही थोड़ी हो तो भी व्यवहारतः यान्त्रिक समस्या की कठिनाई से निस्तार न मिलता और प्रगति रक जाती है। किन्तु इस बाधा का कारण क्वांटमीकरण विधि की अपूर्णता नहीं है—गत्यात्मक समीकरणों के हल करने की असंभवता है।

परमाणु सिद्धान्त की जिन विविध समस्याओं की भीमासा करने में बाह्य अन्तर्भाव रह उन सबमें सामरफेल्ड ने अपनी आविष्कृत क्वांटमीकरण विधि का उद्घाटन किया। पहले तो उन्होंने यह प्रमाणित किया कि दीर्घवृत्तीय बसाओं^६ के विवरण से भी हाइड्रोजन परमाणु की क्वांटमित ऊर्जाओं के अनुक्रम में कोई नवान मान नहीं प्राप्त हान। अतः बोह्र द्वारा जो परिणाम पहले ही प्राप्त हो चुके थे उनमें कोई

१ Degree of freedom २ Wilson & Sommerfeld ३ Quasi periodical ४ Separation of variables ५ Cyclic period of the integral of action ६ Elliptical orbits

परिवर्तन नहीं हुआ। शीर प्राणीय स्पन्दमा व सम्भव म उठाने यह भी प्रमाणित किया कि स्पन्दमा रसाज्ञा की पारम्परिक प्रतिष्ठापित का विचार करते वाम नियम व प्रतिष्ठापित नियम के स्थान में जब सूत्र प्राप्त नियम जा माने जा जा उस समय तब वाम प्रमाण व ही द्वारा प्राप्त हुए व, जा स्पन्दम विज्ञान म गिटवग जीर स्थित व सूत्रा व नाम म विज्ञान ह जीर जिज्ञा द्वारा आवृत्ति-अनुवम में प्रमाणित रसाज्ञा का वितरण वामर नियमानुष्पी सूत्रा ही अप ता अधिन वयायतापूरन निर्णय हो जाता है।

किन्तु स्पन्दमीय रसाज्ञा की सूत्र रचना (पाश्चिमी स्पन्द) का निदान ही सामरफेन्ड की सज्ज वनी सफलता थी। जब उच्च विभेदक शक्ति वाले स्पन्दम दर्शी व द्वारा हाइड्रोजन के स्पन्दम का सूत्रना से अध्ययन किया गया था तब यह मालूम हो गया था कि हाइड्रोजन स्पन्दम की कुछ रसाज्ञा गरम अवस्था एकर नहीं होती। किन्तु वास्तव में व लगभग वगैर आरम्भियाशली अनेक रसाज्ञा द्वारा सघटित होती है। बाह्य के निदान से प्राप्त वामर प्रतिष्ठापित सूत्र में इस सूक्ष्म रचना पर विचार नहीं किया गया था। सामरफेन्ड व मन में यह विचार आया कि पारमाणविक इलेक्ट्रॉन के लिए प्रतिष्ठित यूटनीय यात्रिकी व स्थान में आइन्स्टाइन की आपेक्षिकीय यात्रिकी का उपयोग करने म गायद स्पन्दमीय रसाज्ञा की जटिलता या स्पष्टीकरण मभव हो जाय। वास्तव में यदि बाह्य के निदान के सूत्र पर हम पुन विचार कर ता हमें मालूम हो जायगा कि परमाणु की ग्रहीय अवस्था के अनुसार उा इलास्टा का वग इनने अधिन हो कि आपेक्षिकीय सगायना का उपयोग अवश्य हो पाया है। क्वांटमीकरण की विधि जीर आइन्स्टाइन की यात्रिकी के द्वारा जब शक्ति फिर से किया गया तो सामरफेन्ड ने देखा कि पूर्ववर्ती सिद्धांत द्वारा शक्ति के कुछ क्वांटमित मान विदलित हो गये अर्थात् बाह्य द्वारा निर्णयित स्पन्दमीय पद लगभग वगैर माना के कई स्पन्दम पदा में विभाजित हैं। ही यह बात सूत्र रचना की घटना की व्याख्या के लिए पाती है। द्वि रसाज्ञा के सघटका की आवश्यकता के अन्तर्गत् ही मालूम हो जाता है कि वलन द्वारा प्राप्त हुए थे उनका प्रायोगिक माप।

इस सफलता से उत्साहित होकर गायद स्पन्दमीय सूक्ष्म रचना की व्याख्या भी इसी उपाय से की जा सकती है। स्पन्दमा की सूक्ष्म रचनाएँ प्रमाणित

अधिक महत्वपूर्ण है। यस्तुत एवम विरण स्पेक्ट्रम में तो ऐसी द्वि रेखाएँ पायी जाती हैं जिनके संघटका का विभेदा बहुत आसान होता है और यह आसानी से देखा जा सकता है कि उनकी आवृत्तियाँ के अन्तर का मान तत्त्वा के घूरे अनुक्रम में निश्चित प्रकार बदलता है। कुछ द्वि रेखाएँ जो नियमित द्वि रेखा कहलाती हैं ऐसा होती हैं जिनमें आवृत्तियाँ या अन्तर तत्त्व के परमाणु क्रमांक Z के अनुसार तीव्रता से बढ़ता है—लगभग परमाणु क्रमांक के चतुर्थघात के अनुपात में। आपत्तिकीय यांत्रिकी और क्वांटमीकरण विधि के सम्मेलन से सामरफेल्ड ने इन नियमित द्वि रेखा के वर्णन का और उनसे Z के अनुसार हानेवाले परिवर्तन की व्याख्या करने में सफलता प्राप्त कर ली। विशेष कर L -श्रेणी के द्वि रेखा तो सामरफेल्ड के सूत्र से बहुत ही अच्छी तरह निर्दिष्ट हो जाते हैं।

सामरफेल्ड ने ये अत्यन्त सन्तोषजनक परिणाम १९१६ में प्रकाशित किए थे और तुरन्त ही ये क्वांटम विधि तथा आपत्तिकीय यांत्रिकी की अति महान और निश्चित सफलता के प्रतीक बन गये। इनमें जो उत्साह उत्पन्न हुआ वह भी उचित ही था। किन्तु और भी अधिक सूक्ष्म विवेचन के द्वारा यह प्रकट होने में भी देर नहीं लगी कि जहाँ हम चित्र में कई अस्पष्ट भाग देखी रह गये थे। पहली बात तो यह थी कि बाह्य और सामरफेल्ड ने जिन धारणाओं और विधियों का उपयोग किया था और जिनसे पुराने क्वांटम सिद्धांत का निर्माण हुआ था उनमें कुछ सद्धांतिक कठिनाइयाँ उत्पन्न हो गयीं जिनका जिक्र हम इस परिच्छेद के अन्तिम अनुच्छेद में करेंगे। इन व्यापक कठिनाइयों के अतिरिक्त सामरफेल्ड के इन परिणामों के विरुद्ध कुछ अधिक विनिष्ट रूप से आपत्तियाँ भी उठ सड़ी हुई। एक तो प्रकाशीय तथा एवम विरणीय स्पेक्ट्रम की धातुविक्र सूक्ष्म रचना सामरफेल्ड के सिद्धांत द्वारा निश्चित सूक्ष्म रचना से अधिक जटिल होती है। यद्यपि सामरफेल्ड द्वारा निर्णीत स्पेक्ट्रमपदीय यांत्रिकी बोह्र की योजना से अधिक पूर्ण थी तथापि वह अब भी इतनी प्रशस्त नहीं थी जितनी स्पेक्ट्रम-मापकीय प्रयोगों द्वारा प्रमाणित हो चुकी थी। यह कठिनाई अत्यन्त भयावह थी क्योंकि सामरफेल्ड की क्वांटम विधि में प्रयोग द्वारा आविष्कृत अतिरिक्त स्पेक्ट्रम-पदा की निश्चित करने के लिए कोई स्थान नहीं है। यह विधि सभागी और सर्वानुपूरण है और उसका परिवर्धन सम्भव नहीं मालूम होता। सामरफेल्ड ने आम्प्लिफिक क्वांटम संख्या नामक एक और परिपूरक क्वांटम संख्या की निश्चित करके इन अतिरिक्त स्पेक्ट्रम

पदा का वर्गीकरण करने में तो सफलता प्राप्त कर ली, किंतु उभे सिद्धांत के मूल आधारों में इस नये जोर विजातीय जश को सम्मिलित करने के औचित्य का किसी भी युक्ति के द्वारा समर्थन नहीं किया जा सकता। इस आभ्यन्तरिक क्वाटम-संख्या के अस्तित्व की युक्तिसंगतता सिद्ध करने के लिए तो इलैक्ट्रॉन के चुम्बकीय गुण के अत्यंत आधुनिक आविष्कार की आवश्यकता थी।

इस प्रकार सामरफेल्ड का मिडान स्पेक्ट्रमा की सूक्ष्म-रचना की सवागपूण व्याख्या करने के लिए बहुत सखीण प्रमाणित हुआ। उममें इतनी आशा तो थी ही कि कम-से-कम वामर-श्रेणी की तथा एक्स किरण-स्पेक्ट्रमा के द्विक की तो वह पूण यथायथापूर्वक प्रागुक्ति कर सकेगा। किंतु दुर्भाग्यवश स्पेक्ट्रमा की संरचना के पर-वर्ती अधिक सूक्ष्म अध्ययन से इस आशा का भी समर्थन नहीं हुआ। इस अध्ययन से यह तो स्पष्ट हो गया कि परमाणु की प्रत्येक स्थावर अवस्था कई क्वाटम संख्याओं के एक विविष्ट समुदाय के द्वारा निर्दिष्ट होती है और इन क्वाटम संख्याओं का वितरण भी सुनिश्चित होता है। यदि इन बातों को ध्यान में रखा जाय तो निम्नलिखित अदभुत परिणाम निकलता है। सामरफेल्ड का सिद्धांत यह तो सही-सही बता देता है कि वामर-श्रेणी में और एक्स किरण स्पेक्ट्रमा में द्विक-रेखाओं का अस्तित्व होना चाहिए किंतु तिन स्थानों पर वह इनका अस्तित्व निर्दिष्ट करता है ठीक वही ये द्विक वास्तव में नहीं होते। यह मानना संभव नहीं है कि सामरफेल्ड के सूत्रों की जो सफलता दिखाती है वह केवल आकस्मिक है। किंतु ऐसा बोध होता है कि उनके सैद्धांतिक निमाण में कोई-न-काई वस्तु अभी तक यथास्थान स्थापित नहीं हुई है। डिरैक^१ के सिद्धांत ने तरंग यांत्रिकी और इलैक्ट्रॉन के चुम्बकीय गुण के सम्मेलन के द्वारा सभी वस्तुओं का यथास्थान स्थापित कर दिया है और सामरफेल्ड के मूल परिणामों का भी अक्षुण्ण बनाये रखा है। इस प्रकार ऐसा प्रतीत होता है कि इस सुविख्यात भौतिकी की पथ-प्रदर्शक धारणाएँ तो सही थी किंतु जिस समय उन्होंने अपने सिद्धांत का निर्माण किया था उस समय न तो क्वाटमवाद और न हमारा इलैक्ट्रॉन सम्बन्धी ज्ञान ही इतना उन्नत हो पाया था कि उनका यह निर्माण-कार्य पूणतः सतापजनक हो जाता।

४ बोह्र का सिद्धांत और परमाणुओं की संरचना^१

बोह्र के सिद्धांत की मूल धारणा यह है कि परमाणु के भीतर इलैक्ट्रॉन केवल क्वाटमित ऊर्जावाली कुछ स्थावर अवस्थाओं में ही रह सकते हैं। अब उममें ऊर्जा

के कई स्तर^१ हाने ह और उही में विभिन्न इलैक्ट्रान विनरित रहत ह। हमें यह मालूम ह कि तत्त्वा की सख्या ९२ है और इनके परमाणुआ में इलैक्ट्राना का सख्या प्रमरा १ से ९२ तक नियमित रूप मे बढ़ती जानी है। इसलिए यदि हम उत्तरोत्तर बढ़ते हुए परमाणु प्रमाक के क्रम से सब तत्त्वा पर विचार करें तो हम देखेंगे कि एक एन नये इलैक्ट्रान के आगमन से परमाणुआ की आम्प्यन्तरिक इलैक्ट्रानिक व्यवस्था उत्तरास्तर अधिक जटिल होती जाती है। तत्त्वा की इस आम्प्यन्तरिक सरचना का अन सरण करने से सिद्धातत उनके रासायनिक तथा स्पेक्ट्रमीय गुणा और चुम्बकीय गुणा का भी कारण हम जान सकेंगे। क्वाटम सिद्धान्त के जन्म में पहलू दसी रसायन मैण्डलीफ^२ ने उम समय के समस्त ज्ञात तत्त्वा की ऐसी सूची बनायी थी जिनमें उत्तरोत्तर परमाणु भार बढ़ता जाता था। परमाणुआ का यह क्रम लगभग पूणत वर्धमान परमाणु प्रमाका का ही क्रम था। तब मालूम हुआ कि इस प्रकार अनुनमित तत्त्वा क रासायनिक गुणा में एक प्रकार का आवतत्व^३ विद्यमान है। अर्थात् इस सूची में नियमित अन्तराणा पर ऐसे तत्त्वा के नाम थे जिनके रासायनिक गुणा में समानता थी। वस्तुत यह जानव बहुत सरल प्रकार का नही है। मैण्डलीफ की सारणी के अन्त की अपेक्षा प्रारम्भ में ये आवतत्व के अतराल छोटे हाते हैं और कही-कही ऐसी गडबड भी खिाई देती है जिससे नियमितता बिगड जाती है। फिर भी आवतत्व का अस्तित्व निर्विबा^४ ह और उत्तम परमाणु सिद्धात से इसका कारण स्पष्ट हो जाना चाहिए। इस उद्देश्य का पूर्ति के लिए बाह्य के सिद्धान्त ने जिस नियम का सिद्धातत प्रतिपादन किया उसके ग अथ को हम आगे चलकर अधिक अच्छी तरह समझ सकेंगे। इस नियम में यह मान लिया गया कि प्रत्येक क्वाटमित स्तर में एक निश्चित महत्तम सख्या से अधिक इलैक्ट्रान नहीं रह सकते। दूसरे शब्दा मे ये अत परमाणु क ऊर्जास्तर इलैक्ट्राना से सन्त^५ हो जाते ह। क्वाटमित सरचनाओ का यह गुण सचमुच ही बिलकुल नया तथा अप्रत्य^६ शित था और ऐसे चुपके से स्वीकार कर लिया गया था कि किमी को उसके महत्व का पता भी न लगने पाया।

स्तरा की सतृप्ति की परिकल्पना को स्वीकार कर लेने पर और भौतिक विज्ञान के जिस नियम के अनुसार किसी भी निकाय की स्थायी अवस्था मे ऊर्जा का मूच लघुतम होता है उसकी सहायता से मैण्डलीफ की सारणी में विद्यमान आवतत्व का रहस्य समझना जासान है। यदि स्तरा मे सतृप्ति का गुण न होता तो साधारण स्या

अवस्था में समस्त तत्त्वा के सभी इलेक्ट्रान यूनायत ऊर्जा के स्तर में ही अवस्थित हान। किन्तु स्तरा के सन्तुष्ट हो जाने के कारण ऐसा नहीं होता। जब हम एक तत्त्व में जाग बढकर परवर्ती तत्त्व पर पहुँचते हैं तो सामान्य परमाणु की रचना में जो नया इलेक्ट्रान सम्मिलित होता है वह अत्यन्त स्तर में स मध्यम उम ऊँचाई के स्तर में स्थान ग्रहण करता है। इसी बात को बढुधा या बढन है कि जिना यूनायत ऊँचाई के स्तर में उसे जगह पाली मिलती है वही वह जा बढता है। जब निम्नी तत्त्व में निम्नतम ऊँचा का स्तर इल्लकाना स सन्तुष्ट हो जाता है तो परवर्ती तत्त्व के अतिरिक्त इलेक्ट्रान का बधमान ऊँचाई के स्तर में उसे सन्तुष्ट स्तर स अगले स्तर में जगह मिलती है। अत यदि मण्डलीय सारणी के प्रथम से परमाणुओं की गरचना के विषय का अनुसरण करे तो हम देखेंगे कि परमाणु के विभिन्न निम्न ऊँचाई-स्तर उत्तरोत्तर सन्तुष्ट हान जात है। किन्तु यही यह महत्वपूर्ण बात भी यह देना उचित है कि मूल्य रचना के अस्तित्व से यह भी प्रसङ्ग होता है कि परमाणु के आन्तरिक इलेक्ट्रान की ऊँचा के बढावमिन स्तर पर ई पुजा' के रूप में वितरित हान है और प्रत्येक पुज के स्तरा की ऊँचाई में बढत ही कम धनर होता है। हम या भी यह सक्ते हैं कि जिना स्तरा की ऊँचा लगभग बराबर होती है और जा एक ही पुज में अवस्थित हाने हैं उनसे द्वारा नाभिज पर एन' सपुट' सा बा जाना है। और विभिन्न तत्त्वा के परमाणुओं के आनुसमिक निर्माण पर ध्यान दन से हम देखेंगे कि स्तरा के उत्तरोत्तर सन्तुष्ट हान जाने के कारण विविध सपुट भी उत्तरोत्तर बनन जात है। निम्नी एन सपुट के निर्माण के विभिन्न पदा के अनुक्रम ही विभिन्न परमाणुओं के मुनिर्दिष्ट रासायनिक तथा स्पेक्टमीय गुणा का अनुक्रम होता है। और जब एक सपुट का बनना समाप्त हो जाता है और दूसरा सपुट बनना प्रारम्भ होता है तब फिर लगभग कम ही पदा की पुनरावृत्ति होती है। इससे तत्त्वा की सूची में परमाणुओं के गुणा के प्रभित जावतन की सबया स्वाभाविक व्याख्या हो जाती है। मण्डलीय-सारणी के आन्तरिक के अंतराग की लम्बाइया में जो अंतर है उसका भी स्पष्ट कारण यही है कि भिन्न भिन्न सपुटों में स्तरा की सख्या बराबर नहीं होती और उहे सन्तुष्ट करने के लिए आवश्यक इलेक्ट्रानों की संख्या भी भिन्न भिन्न होती है। यथा हम इही सक्षिप्त मकेना का बनावर सनाप करेंगे। तत्त्वा के गुणा में उत्तरोत्तर जा परिवर्तन होता है वह उनकी इलेक्ट्रानिक संरचना की क्रम बढती हुई जटिलता का परिणाम है। इस व्याख्या का प्रतिपादन मजसे पहले कार्मेल ने किया था। बाद में

वाह्य, स्टानर^१ और मनस्मिय^२ के प्रयत्न में विनमित हायर इमकी गहराई और भाव बढ़ गयी और अब यह ध्याय्या बहुत सतापजनक ममयी जानी है।

सपुटा और स्तरा में इलैक्ट्रानों के वितरण में और एक्स किरण स्पेक्ट्रम का सरचना में भी घनिष्ठ सम्बन्ध है। बोह्र के सिद्धांत के अनुसार एक्स किरणों की उत्पत्ति या वास्तविक कारण यह है कि यदि किसी बाह्य क्रिया के कारण परमाणु के किरण भीतरवाले सपुटा में से एक इलैक्ट्रान खींच कर बाहर निकाल दिया जाय तो उस सपुटा में एक स्थान रिक्त हो जाता है और तब किसी बहिर्वर्ती सपुटा का कोई इलैक्ट्रान आकर उस स्थान का ग्रहण कर सकता है। इस सन्नमन में उसकी ऊर्जा कुछ घट जाती है और इसमें बोह्र की मूल धारणाओं के अनुसार विकिरण का एक क्वांटम उत्सर्जित हो जाता है। इस प्रकार उत्सर्जित विकिरण से ही एक्स किरण स्पेक्ट्रम का रेखाओं की सृष्टि होती है। अतः अधिक गहराई में गये बिना ही यह ममय में आ सकता है कि एक्स किरण क्षेत्र की स्पेक्ट्रमीय रेखाओं के अध्ययन और वर्गीकरण के द्वारा परमाणुओं की अंतरंग सरचना तथा स्तरों की सतप्ति के सम्बन्ध में हमारी धारणा अधिक परिष्कृत हो गयी है। अब हम कह सकते हैं कि स्तरों की सतप्ति का घटना जिसके महत्त्व पर हमने इतना जार दिया है तत्त्वा की सारणी में एक्स किरण स्पेक्ट्रम की उत्तरोत्तरवर्ती प्रगति के द्वारा निर्विवादतः प्रमाणित हो गयी है।

परमाणुओं में क्वांटमित स्तरों के अस्तित्व तथा विविध परमाणुओं की सरचना के व्यवस्थात्मक चिन्ना का प्रबल समर्थन सघटन-सभूत आयनीकरण^३ के प्रयोगों द्वारा भी हो गया है। परमाणु में इलैक्ट्रानों जितने ही अधिक नीचे स्तर में अवस्थित होंगे उतनी ही अधिक ऊर्जा उसे परमाणु से विच्छिन्न करने में आवश्यक होगी। कल्पना कीजिए कि गैस के परमाणुओं पर हम किसी निश्चित ऊँचाईवाले कणों की बौछार करते हैं। जब इन कणों की टक्कर गैस के परमाणुओं से होगी तब उन परमाणुओं के भीतर से वे इलैक्ट्रान तो पथक होकर बाहर निकल जायेंगे जिनकी विच्छिन्न ऊर्जा आपतित कणों की ऊर्जा से कम होगी। यदि इन आपतित कणों की ऊँचाई कम बढ़ाया जाय तो हम देखेंगे कि जब जब यह ऊँचाई जाहूत परमाणु के किसी स्तर से इलैक्ट्रानों को विच्छिन्न करने के लिए आवश्यक ऊर्जा से अधिक हो जायगी तब-तब एक नये प्रकार का विकिरण प्रकट होने लगेगा। इन नवीन प्रकार के विकिरणों की उत्तरोत्तर उत्पत्ति के प्रेक्षण से हमें उस गैस के परमाणुओं की स्तरीय व्यवस्था का पूरा

1 Stoner 2 Main Smith 3 Ionisation by collision 4 Energy of dissociation

ज्ञान (कम से कम मिद्वान्त) प्राप्त हो सकेगा। ऐसे प्रयाग का प्रारम्भ फ्रैंक^१ और हर्ट्ज़^२ ने किया था और उनसे न केवल एक किरण-स्पेक्ट्रम द्वारा निर्दिष्ट क्वाट-मित स्तरा का ही पूरा समर्थन हुआ है, किन्तु विभिन्न परमाणुओं में विभिन्न स्तरा के प्रत्यागित वितरण की भी पुष्टि हो गयी है।

५ बोह्र के मिद्वान्त की आलोचना

इस परिच्छेद में हमने जो कुछ लिखा है वह बोह्र के परमाणु सिद्धान्त के महत्त्व का प्रकट करने के लिए पर्याप्त है। इस मिद्वान्त का जन्म अर्वाचीन भौतिक विज्ञान के इतिहास में बहुत महत्त्वपूर्ण कदम था। इसके द्वारा स्पेक्ट्रम विज्ञान के अत्यन्त विस्तृत क्षेत्र में ऐक्य स्थापित हो गया और उसमें काम करनेवाले नियमों का स्वरूप भी समझ में आने लगा। और उसके बाद तो क्वाटमीकरण के सुशुद्ध सिद्धान्त के व्यापक रूप में (जिसे अब हम पुराना क्वाटम सिद्धान्त कहते हैं) उसे अनेक परमाणवीय घटनाओं की व्याख्याओं में और प्रागुक्ति में अच्छी सफलता प्राप्त हो चुकी है।

फिर भी बोह्र की धारणाओं पर जाधित प्रशमनीय सिद्धान्त-समुच्चय आलोचना से मुक्त नहीं हो सका। हमारा मत है केवल उन योग्य-भी असफलताओं की ओर ही नहीं है जिनका उसे कहीं कहीं सामना करना पड़ा था, यथा, सामरफ़ैल्ड के सूक्ष्म रचना-सूत्रों में और स्पेक्ट्रमीय तथ्यों में मागत्य स्थापन करने में उपस्थित कठिनाइयाँ जिनका जिक्र पहले किया जा चुका है अथवा वह प्रयाग विरुद्ध सिद्धान्तिक मान जो अनाविष्ट^३ होलियम परमाणु के आयनीकरण विभव^४ के लिए पुराने क्वाटम सिद्धान्त की विधि से बड़े लम्बे परिवर्तन के द्वारा नाममात्र^५ ने प्राप्त किया था। ये असफलताएँ तो उस सिद्धान्त के भविष्य के लिए अशुभ थीं ही, किन्तु बोह्र की मूल धारणाओं के विरुद्ध भी कई अधिक व्यापक आपत्तियाँ उठ खड़ी हुईं जिनमें ऐसा जान पड़ता था कि वे धारणाएँ सुसंगत और स्वाभाविक नहीं समझी जा सकती और फलतः वे यथायथ सतोपजनक भी नहीं हो सकती। अब इन आपत्तियों के विषय में भी कुछ शब्द कह देना उचित है।

सबसे प्रथम तो बोह्र का सिद्धान्त क्वाटम-मंत्रमणा में उत्पन्न विचित्रण के स्वरूप का पूरा यथायथापूर्व निर्णीत करने के लिए बिल्कुल असमर्थ सिद्ध हुआ। इसमें सन्देह नहीं कि उस विचित्रण की आवृत्ति के सिद्धान्तिक परिवर्तन का बिल्कुल सही नियम प्राप्त हो गया था किन्तु एक वर्ण विचित्रण के पूरे विवरण के लिए यह भी आवश्यक है

कि हमें उसकी तीव्रता^१ और उसकी ध्रुवण-अवस्था^२ का भा ज्ञान हो। बाह्य स्वर अपने सिद्धांत के इस दाप से परिचित थे और इस दोष का दूर करने के लिए मरने पहले उन्होंने ही अपने आनुस्य नियम^३ का १९१६ में प्रतिपादन किया था। अने पन्चिद्रेद में इस महत्वपूर्ण विषय का ही विवेचन किया गया है। इसी प्रकार और अधिक कहना उचित नहीं है। किन्तु उत्सर्जित विकिरण सम्बन्धी नाम का पूरा ज्ञान अभाव के अनिरिक्त बोझ के सिद्धांत में और भी दूसरी कमजोरियाँ विद्यमान थीं। स्वाम तीर से तो यह कि उसके मूल में एक ओर तो प्रतिष्ठित यात्रिका का प्रारम्भ और सूना का तथा दूसरी ओर क्वाटम विधिया का विचित्र सम्मिश्रण था। इनका प्रारम्भ तो यह मानकर किया जाता था कि अतः परमाणु कूलम्बियन चिरप्रतिष्ठित यात्रिका के द्रव्य बिन्दु के तुल्य हैं और वह कूलम्बीय बल के प्रभाव से अपना क्वाटम नियमित रूप से गमन करता है जिससे परमाणु का प्रतिरूप एक असाधारण रूप आकारवाले छोटे से ग्रहोय निकाय के समान बन जाता है। किन्तु बाद में इस चिरप्रतिष्ठित यात्रिका से पूर्णतः सगत चित्रण में अनियमित रूप से बलान्तरण के अतुल्य घुसा लिये जाते हैं और यह कह दिया जाता है कि प्रतिष्ठित यात्रिका द्वारा परिकलित अनन्त कक्षाओं में से केवल वही स्थायी और वास्तव में सम्भव होती हैं जो क्वाटमीकरण का शर्तों को पूरी करती हैं। फलतः परमाणु की अवस्था का परिवर्तन केवल ऐसे ही आकस्मिक सन्क्रमणों के द्वारा हो सकता है जिनमें ऊर्जा का हानि होती है और विकिरण का उत्सर्जन होता है। आकाश और काँच के चिरप्रतिष्ठित अवस्थाओं में इन आकस्मिक सन्क्रमणों को चित्रित करने का कोई भी सम्भव मार्ग नहीं पड़ता। दो सन्क्रमणों के मध्यवर्ती काल में परमाणु की अवस्था स्थायी रहती है (बोझ की स्थावर अवस्था) और ऐसा मालूम पड़ता है कि उस अवस्था में परमाणु का बाह्य जगत् से किसी भी प्रकार का सम्पर्क नहीं रहता क्योंकि वह किसी भी विद्युत् चुम्बकीय विकिरण का उत्सर्जन न करके विद्युत् चुम्बकीय सिद्धान्त के मुक्त नियमों की पूर्ण अवहेलना करता है और फिर सहसा वह इस स्थावर अवस्था से दूसरी अवस्था में पहुँच जाता है। और इस सन्क्रमण का न तो कोई विवरण दिया जा सकता है और न आकाश और वायु में उसका निरूपण हो सम्भव है। यद्यपि हमने ऊपर चिरप्रतिष्ठित धारणाओं को माना था किन्तु अंत में हम उन धारणाओं को मजबूत नहीं कर पा रहे हैं और जो सिद्धांत अपनी प्रारम्भिक धारणाओं का अन्त में विपरीत

पर द उम साग यपूण कहना ता स्पष्टत ही कठिन ह । दम निद्वान के प्राम्भ मे अवश्य ही गति विनाशीय चित्रण का महारा लिया गया वा निटु-नुल्य इन्कदान पूणन परिकृत्य जादृति की कथाआ मे परिभमण करत हुए माने गय वे जार इन कथाआ के प्रत्येक बिन्दु पर इन्कदान में मुनिर्णीत वग और ऊजा की कथा का गयी थी । किन्तु इन सत्रवा केवल इनना ही उपयोग था कि इनके द्वारा स्थावर अवस्थाआ की ऊजा का तथा स्पष्टदृमीय ऊजा के पदा का परिवर्तन सम्भव हो गया और सौभाग्यवश कत्र इहा परिणामा का स्पष्टदृमीय परिमापना और मघट्ट-सभूत जायनीकरण के प्रयागा के द्वारा सत्यापन सम्भव ह । क्या इससे यह समझने का लाभ नहीं हाता कि यह मत्र अति यथाथ प्रतीत हुनेवाला प्रतिरूप कृत्रिम है । इलैक्ट्राना की कथाआ की जादृति तथा उनमें इलैक्ट्राना के स्थान और वेग का विमो भी भौतिक वास्तविकता मे वाई सम्बन्ध नहीं है और इन समस्त क्वाटमिंत खगालीय यात्रिकी द्वारा प्राप्त केवल स्थावर अवस्थाआ की ऊजाआ के माना का ही वास्तव मे कुछ भौतिक अर्थ ह ?

जसा बहुधा होना है परमाणु के क्वाटम सिद्धांत के प्रतिभागाली जानिप्कारन ने ही सबसे पहले उसकी कमजोरिया को समझा था और उनके महत्व को स्वीकार किया था । उन्होंने ही सबसे पहले ग्रहीय प्रतिरूप की अवास्तविकता पर स्थावर अवस्थाआ की धारणाआ के सवया नये स्वरूप पर, इन धारणाआ का आकार और काल के साधारण सस्थान में व्यवस्थित करने की असम्भवता पर, तथा मूलन नये माग खोजने की आवश्यकता पर जोर दिया था । अपने जानुह्य नियम के द्वारा उन्होंने ही एक अनुसरण योग्य दिशा का निर्देशन भी किया था और इही धारणाआ का आश्रय लेकर कई वर्षों के बाद उही के शिष्य वार हाइजनबर्ग को नवीन क्वाटम सिद्धांत के एक विशिष्ट रूप के अर्थात् क्वाटम-यात्रिकी के निमाण में सफलता प्राप्त हुई थी । इस आश्चर्यजनक और अत्यंत मौलिक प्रयास का वर्णन हम आगे चलकर करेंगे ।

सातवाँ परिच्छेद

आनुरूप्य-नियम^१

१ क्वाटम-सिद्धान्त को विकिरण-सिद्धांत में सम्मिलित करने में कठिनाई

विद्युत्-चुम्बकीय सिद्धांत ने इलैक्ट्रान-परिवर्तना के द्वारा पूणता प्राप्त करने गतिशील वैद्युत आवेशों के द्वारा विकिरण के उत्सर्जन की प्रक्रिया का पूणत स्पष्ट और विकल्पहीन चित्र प्रस्तुत कर दिया था। यदि वैद्युत आवेशों के किसी निकाय का व्यवस्था और गति ज्ञात हो तो इस सिद्धांत के द्वारा उत्सर्जित विकिरण की आवृत्तियाँ, तीव्रताएँ और ध्रुवण का परिकलन अत्यन्त यथायथापूर्वक हो सकता है। इन बातों में सफलता प्राप्त करने के लिए उसने निम्नलिखित माग का अनुसरण किया था। पहले तो समकाणिक अक्ष-तन्त्र^३ में उस दिष्ट राशि^४ के सघटका^५ का परिकलन किया गया जिसका नाम वैद्युत घूर्ण^६ है और जो प्रति क्षण उस निकाय के समस्त आवेशों के स्थानों के द्वारा निर्णीत होती है। ये सघटक समय के फलन हैं जो या फूरियर के श्रेणी प्रसार^७ अथवा अनुकूल प्रसार^८ के गणितीय सिद्धांत के व्यापक प्रयोगों के अनुसार सरल-आवत पदों^९ के परिमित अथवा अनन्त अनुक्रम^{१०} में प्रसारित किए जा सकते हैं। विद्युत चुम्बकीय सिद्धांत के अनुसार उस निकाय में से उन सब आवृत्तियों के विकिरण उत्सर्जित होंगे जो उस फूरियर प्रसार में विद्यमान होंगी। इसके अतिरिक्त यदि किसी विक्षेप आवृत्तिवाले विकिरण का वैद्युत दिष्ट^{११} समकाणिक अक्ष-तन्त्र के किसी अक्ष से समांतर हो तो उस निकाय के वैद्युत घूर्ण के उन्नी अक्ष से समान्तर सघटक के फूरियर प्रसार^{१२} में उस आवृत्ति का जो सरल आवत पद होगा उसका गुण

1 The Correspondence Principle 2 System of rectangular axes
3 Vectorial quantity 4 Components 5 Electric moment 6 Function
7 Fourier 8 Development in series 9 Development in integrals 10 Theorems
11 Harmonic terms 12 Sequence 13 Electric Vector 14 Fourier expansion

के द्वारा उस विविरण की तीव्रता का परिवर्तन तुरन्त हा सनता ह। ये नियम उम निकाय द्वारा उत्सर्जित विभिन्न विविरणा की आवृत्ति तीव्रता तथा ध्रुवन का पूषन निर्णीत करने के लिए पयाप्त ह।

अत यदि विद्युत चुम्बकीय सिद्धात लारेंटज प्रदत्त रूप में ही विद्युत की मूर कणिवाआ के लिए भी सप्रयाज्य हा तो उमकी सहायता स रदरफोड-बोह्ल प्रतिस्ती परमाणु द्वारा उत्सर्जित विविरण का अविकरपी परिवर्तन भी सभव होना चाहिए। हम पहले ही दख चुके ह कि इस प्रकार प्रस्तुत प्रागुनितया म कितनी भीषण अयवायता होती। यदि किसी परमाणु में ये विविरण के रूप में ऊजा अनवरतत निरलती जाय तो निश्चय ही उसके सब इलैक्ट्रान शीघ्र ही नाभिक में गिरकर नष्ट हो जायेंगे और उत्सर्जित विविरण की आवृत्ति भी बराबर सतत रूप से परिवर्तित हाती रहगी। ऐसा परमाणु अस्थायी हागा और मुनिर्णीत आवृत्तिया की स्पैक्ट्रमीय रेखाआ का अस्तित्व ही सभव नहीं हो सकेगा। ये परिणाम सबथा असगत हैं। इस अनिवाय आपत्ति से बचने के लिए हम देख चुके ह कि बोह्ल ने यह परिवर्तनता बनायी थी कि स्थावर अवस्था में परमाणु विविरण का उत्सर्जन नहीं करता। किन्तु इसका अय तो यह स्वीकार करना है कि स्थावर अवस्था मे इलैक्ट्राना की कक्षीय गति के लिए विविरण के विद्युत चुम्बकीय सिद्धात का उपयोग करना सभव ही नहीं ह।

इस प्रकार विद्युत चुम्बकीय सिद्धात से समस्त सम्बधा का विच्छेद हो जाने पर क्वाटम सिद्धात के पास कोई भी ऐसा साधन नहीं रह गया जिमसे वह स्पैक्ट्रमीय रेखाआ के रूप में उत्सर्जित विविरण के लभणा की प्रागुनित कर सके। किन्तु हम बता चुके हैं कि जहा तक स्पैक्ट्रमीय रेखाआ की आवृत्तिया का सम्बधा था, बोह्ल ने इस समस्या की मीमासा करने के लिए यह परिवर्तनता बनायी थी कि स्थावर अवस्थाआ के बीच में जा सनमण होत ह उनमें विविरण का केवल एक ही क्वाटम उत्सर्जित होता है। किन्तु इस आवृत्ति नियम के अनुसार उत्सर्जित विविरण बहुत ही अपूष रूप मे निर्णीत होता है कयाकि वह हमे तीव्रता तथा ध्रुवन के विषय में कुछ भी नहीं बताता। १९१६ में एक अत्यंत मौलिक किन्तु बोडी विकट विधि से उहाने इस कमी का दूर करने में कम-मे-कम आगिक सफरता प्राप्त कर ली। इस विधि का साराग यह था कि परमाणवीय क्षेत्र म चिर प्रतिष्ठित विद्युत् चुम्बकीय सिद्धात के असफल मिद्र होने पर भी क्वाटम घटनाओ में और विद्युत चुम्बकत्व के सूत्रा मे ऐसा आनुष्प स्थापित करने का प्रयत्न किया जाय जिमसे हम यह समझ सके कि विद्युत् चुम्बकीय सिद्धात के द्वारा स्थूल मापदंडीय घटनाआ का अच्छा निरूपण क्या हो जाता ह। फलत

बोह्र एक बहुत ही विचित्र आनुस्यू नियम के व्यवस्थापन में सफल हा गये। इस नियम ने क्वांटम सिद्धान्त के विकास में बहुत बड़ा और अत्यन्त उपयोगी काम किया है।

आनुस्यू नियम का अध्ययन प्रारम्भ करने से पहले यह आवश्यक है कि जिस कठिन समस्या की मीमाणा करने का प्रयत्न बोह्र कर रहे थे उसको भली प्रकार समझ कर दिया जाय। यह भी स्पष्टतापूर्वक समझ लेना आवश्यक है कि उत्सर्जन को प्रमाण के मा निरूपण एक आर नो चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त ने और दूसरी ओर क्वांटम सिद्धान्त ने किये हैं उनमें किन्नी अधिक विभिन्नता है। चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त में गतिशील पारमाणविक इलैक्ट्रान विविरणा की एक पूरी सतत श्रेणी का उत्सर्जन करता है। अतः इन सब विविरणा का उत्सर्जन सतत भी होता है और योगपदिक भी। इसके विपरीत क्वांटम सिद्धान्त में जब तक पारमाणविक इलैक्ट्रान किसी स्थावर अवस्था में रहता है तब तक वह उत्सर्जन नहीं करता और जब वह एक अवस्था से दूसरी अवस्था में सन्क्रमण करता है तब वह एक-एक विविरण के केवल एक ही क्वांटम का उत्सर्जन करता है। इसलिए एक ही प्रकार के परमाणुओं के समूह में से जा विभिन्न एक-एक विविरण उत्सर्जित होने हैं (यथा किसी गैसीय तत्त्व में से उत्सर्जित स्पेक्ट्रम रेखाएँ) वे विभिन्न परमाणुओं के सन्क्रमणों से उत्पन्न होने हैं। दूसरे शब्दों में क्वांटम सिद्धान्त के अनुसार किसी तत्त्व की स्पेक्ट्रमीय रेखाओं का उत्सर्जन असतत होता है और अलग-अलग असलान क्रियाओं के कारण होता है। निश्चय ही चिरप्रतिष्ठित धारणाओं और क्वांटम सिद्धान्त की धारणाओं से अधिक विरोधी धारणाओं की कल्पना करना कठिन है और प्रारम्भ में ही यह प्रश्न उठाया जा सकता है कि क्या इन दोनों में सम्मेलन स्थापित करने के लिए कोई पुल बनाना संभव है।

जब हम इस बात पर विचार करते हैं कि स्पेक्ट्रमीय रेखाओं के उत्सर्जन के चिर प्रतिष्ठित चित्र के साथ क्वांटम धारणाओं द्वारा प्रस्तुत संवधा भिन्न प्रकार के चित्र का आनुस्यू किम प्रकार स्थापित किया जा सकता है तब चुरन्त यह मालूम हो जाता है कि यदि यह आनुस्यू नमी संभव होगा तो उसका स्वरूप केवल सांख्यिकीय ही हो सकता है। वस्तुतः यह तो प्रकट ही है कि चिरप्रतिष्ठित चित्र के साथ आनुस्यू स्थापित करने के लिए समस्त स्पेक्ट्रमीय रेखाओं के उत्सर्जन का एक साथ ही विचार करना पड़ेगा। किन्तु क्वांटम दृष्टि-कोण से एक-एक विविरण के प्रत्येक क्वांटम का उत्सर्जन अकेले एक ही परमाणु की क्रिया होने के कारण यह सभी संभव हो सकता है जब हम

एमे परमाणु-समुदाय का विचार करें तब एम-समान प्रवृत्ति व परमाणु-जा की बहुत बनी मख्या विद्यमान है और जिनम जात्र प्रसार व परम पथक तत्रमण गगानात्र हान रहने व कारण उम तत्त्व की विभिन्न स्पष्टमीय गगानात्र वा उत्पन्न हाना है। दूसरी जात्र विभिन्न रंगाना की तीव्रता की अपरिवाज्य वाग्या भी वगाना मिद्वान में सांख्यिकीय विचारपारा का अनुसरण करके ही विविष्ट है मगनी है। जत्र विनी क्वाटमित परमाणु का मत्रमण हाता है ता वह बज्ज एम ही क्वाटम जयना एम वण विविरण की बज्ज एम ही द्वाइ या उत्पन्न करना है। उत्पन्न की गमी एकाकी प्रिया मे विविरण की तीव्रता का प्रश्न ही नहीं उठ मगना। जत्र तीव्रता निर्णित करने के लिए भी फिर उमी तरह व यन्मत्यर एम-म परमाणु-जा व समुदाय का विचार करना आवश्यक हागा। एम समुदाय में प्रति मकड हानवात्र मत्रमणा का मगना यन्म अधिक हाती है। और एक ही प्रवार व समस्त मत्रमणा का रीर उनक कारण उत्पन्नित एम ही आवृत्तिवाले विविरण के वगाना का विचार करके ही तीव्रता की यह मारिकीय परिभाषा बनायी जा सकती है कि तीव्रता एमे वगाना के मध्यमान आयतन घनक का नाम है। इसी प्रकार परिभाषित तीव्रता की ही तुलना चिर-प्रतिष्ठित सिद्धांत द्वारा परिकल्पित तीव्रता के साथ हा सकती है।

निस्तदह जत्र पाठना की समथ में जाने लगा हागा कि वांछित आनुसूच्य की स्थापना किस प्रकार संभव हो सकती है। एक तरफ ता एम बाल्पनिक परमाणु-जा का समुदाय लीजिए जा चिर प्रतिष्ठित विद्युत चुम्बकीय नियमा का पालन करत हा और दूसरी तरफ वास्तविक क्वाटमित परमाणु-जा का समुदाय लीजिए। इन दाना समुदाया के द्वारा उत्पन्नित विविरणा की आगतिवा तीव्रताजा और ध्रुवणा मे हम ऐमा सम्बध स्थापित करना है कि पहर समुदाय के चिर प्रतिष्ठित विद्युत चुम्बकीय सिद्धांत की सुपरिचित विधि द्वारा परिकल्पित स्पष्टमीय उत्पन्न दूसर समुदाय क जयान् वास्तविक उत्पन्नता के विषय मे कुछ सूचना दे सक। ऐम सम्बध का पूर्वत पना लगा लेना निश्चय ही जासान नहीं है। किन्तु बाह्य व विलक्षण रूप से प्रवर मस्तिष्क न यह काम कर ही डाला और दम दुःख ममस्या की पूण और निश्चित न मही कम न कम ऐसी वायनिवाहक मीमामा ता कर ही ली जा जत्यन्त ही उपयागी तथा गभीर भौतिक तथ्य से पूण प्रमाणित हु है। जब उमकी रूप रखा बनाने व त्रिए जानुक्त समय आ गया है।

२ बोह्र का आनुस्यू-नियम

मान लीजिए कि हम चिर-प्रतिष्ठित नियमों का पालन करनेवाले बहुपरमाण्विक काल्पनिक परमाणुओं के समुदाय की तुलना उतनी ही सख्यावाले वास्तविक क्वाटम परमाणुओं के समुदाय में करना चाहते हैं। यदि हमें पहले समुदाय के परमाणुओं के अंतर्गत इलेक्ट्रॉनों की गति का पान हो ता हमें उत्सर्जित विकिरण की आवृत्ति, तीव्रताएँ और ध्रुवण भी परिकलन के द्वारा पात हा जायेंगे। इन्हा के द्वारा हम वास्तविक परमाणुओं के विकिरण की आवृत्तियाँ, तीव्रताओं और ध्रुवण की प्रागुक्ति करना चाहते हैं। यदि इन वास्तविक राशियों के सम्बन्ध में हमें कुछ भी मालूम न हा ता उन समस्या का मुलाना या हमारे पास बाइ माग ही न रह जाता। किन्तु मौलिक धाह के आवृत्ति नियम की रूपा से हमें इन क्वाटम परमाणुओं द्वारा उत्सर्जित आवृत्तियाँ मालूम ह। इसलिए पहला काम ता यही है कि इन आवृत्तियों की न आवृत्तियों में तुलना करें जो चिर-प्रतिष्ठित सिद्धांत के अनुसार उन काल्पनिक परमाणुओं में से उत्सर्जित हानी चाहिए। यदि ऐसी तुलना की जाय तो मालूम हा कि इन दो प्रकार की आवृत्तियों में कोई भी सरल सम्बन्ध विद्यमान नहीं ह। अतः हमारे उद्देश्य की पूर्ति के माग में प्रगति होने का कोई भी उपाय दिखाई नहीं देता। इस स्थान पर बोह्र की प्रतिभा निश्चित रूप में प्रकट हुई। बोह्र यह जानने के कि स्थूल-स्तम्भ घटनाओं के क्षेत्र में विद्युत-चुम्बकीय सिद्धांत सदैव अत्यन्त मरिक्तता पूर्वक यथा प्रमाणित होता है। और क्वाटम-दृष्टि-कोण से स्थूल-स्तरीय घटनाएँ ऐसी होती हैं जिनमें अधिक ऊँची क्वाटम-संख्याओं की आवश्यकता हाती है। अतः इस बात की वजह अधिक संभावना है कि बड़ी क्वाटम-संख्याओं के क्षेत्र में क्वाटम सिद्धान्त के परिणामों में आरंभ चिरप्रतिष्ठित सिद्धांत के परिणामों में अनन्त-स्पर्शी सम्बन्ध हा। इसलिए इसी क्षेत्र में दोनों सिद्धांतों का संगम हो सकता है। और हमें चिरप्रतिष्ठित तथा क्वाटम दोनों ही प्रकार की आवृत्तियों की परिकलन विधियाँ मालूम ह। इसलिए सबसे पहले तो यही देखना चाहिए कि ऊँची क्वाटम-संख्यावाली स्थावर अवस्थाओं के लिए इन आवृत्तियों में कितना अन्तर हो जाता है।

अब क्वाटम परमाणु की ऊँची क्वाटम-संख्यावाली बाह्यतम इलेक्ट्रॉनिक कक्षा का विचार कीजिए और साथ ही काल्पनिक चिर-प्रतिष्ठित परमाणु में भी उनी कक्षा का विचार कीजिए। चिर-प्रतिष्ठित परमाणुओं में तो वह इन्कनन विभिन्न

आवृत्तियाँ का एक पूरा अनुक्रम लगाता उन्मजित करता रहता है और य आवृत्तियाँ कुछ ऐसी मूल आवृत्तियाँ की प्रमादी^१ हानी ह जिनका निणय इन्स्ट्रान गति के फरियर विस्लेपन^२ के द्वारा हा सकता है। क्वाटमित परमाणु में इन्स्ट्रान स्थावर अवस्था में तो उत्मजन नहीं करता किंतु उसकी अवस्था के सन्नमण हा सन्न ह और इनके कारण उसमें स जा उन्मजन होता ह उसकी आवृत्ति बाह्य के आवृत्ति नियम के द्वारा निश्चित रूप से निर्णीत हा जाती ह। इन दाना प्रकार की आवृत्तियाँ पर गौर करने में मात्रम होता है कि चिरप्रतिष्ठित मिद्धान्त द्वारा परिवर्तित बापनिर परमाणु की प्रत्येक आवृत्ति के साथ क्वाटमित परमाणु के किसी विशेष सन्नमण का आनुसृत्य ह जिसके कारण उस क्वाटमित परमाणु में मे भी ठीक उसी आवृत्ति का उत्मजन होता है। अतः ऊँची क्वाटमित-सस्याआ के क्षेत्र में चिर प्रतिष्ठित प्रक्रिया में उन्मजित आवृत्तियाँ में तथा क्वाटमित इन्स्ट्रान की सन्नमण-समाय आवृत्तियाँ में बहुत अच्छा सपात या मेल है। चिरप्रतिष्ठित धारणा के अनुसार ता प्रत्येक परमाणु ये समस्त आवृत्तियाँ एक ही साथ और अनवरत रूप में उत्पन्न करता है परंतु क्वाटमित परमाणु में स एक बार में केवल एक ही आवृत्ति का उत्मजन हा सकता ह। दोना प्रकार के उत्सजना की प्रक्रियाओं में इतना गहरा भेद होने पर भी अंतिम परिणाम में कुछ भी फर्क नहीं पड़ता और जिन दोना प्रकार के परमाणु समुदाय पर हम विचार कर रह ह उन दाना में से (बड़ी क्वाटमित-सस्याआ के क्षेत्र में) ठीक वही स्पेक्टमीय रेखाएँ उत्पन्न होती ह।

इस प्रकार बड़ी क्वाटमित-सस्याआ के क्षेत्र में चिर प्रतिष्ठित और क्वाटमित मिद्धान्त की आवृत्ति सम्बन्धी प्रागुक्तियाँ की सत्यता का सत्यापन हो जाने पर बाह्य का यह विश्वास हा गया कि इस क्षेत्र में तीव्रताओं और ध्रुवणा के सम्बन्ध में भी चिर प्रतिष्ठित मिद्धान्त का प्रागुक्तियाँ हमारे काल्पनिक परमाणु-समुदाय के लिए करता है व वास्तविक परमाणु-समुदाय के लिए भी निश्चय ही सत्य निकलेंगी। वास्तविक क्वाटमित परमाणु का स एक एक स्पेक्टमीय रेखा का उत्मजन क्वाटमित अवस्थाओं के एक एक सन्नमण के द्वारा होता ह और जैसा हम पहले बता चुके ह किसी भी स्पेक्टमीय रेखा की तीव्रता इस बात पर अवलम्बित होती ह कि औसत रूप में प्रति सेकंड उस रेखा का उत्पन्न कर सनेवाला सन्नमण उस परमाणु समुदाय के जितने अणु में होता है अथवा प्रत्येक क्वाटमित परमाणु के लिए प्रति सेकंड होनेवाले अभीष्ट सन्नमणा की प्राप्ति^३ जितनी ह। अतः यदि बाह्य के मतानुसार यह मान लिया जाय कि वास्तविक परमाणुओं

ये समुदाय द्वारा उद्भाजित विभी नी स्पेक्ट्रमीय रेखा की तीव्रता वास्तविक परमाणु समुदाय द्वारा उद्भाजित उन्मी स्पेक्ट्रमीय रेखा की चिरप्रतिष्ठित विधि से परिवर्तित तीव्रता के आधार पर हाना चाहिए, ता विद्युत-चुम्बकीय सिद्धान्त के सूत्रों की सहायता से ही हम उक्त क्वाटम-सन्नमण की प्रायिकता का मान प्राप्त कर सकेंगे। इस प्रकार यम-मे-यम बड़ी क्वाटम-सन्नमण के क्षेत्र में ता स्पेक्ट्रमीय रेखाओं का तापना का प्रागुक्ति करने की समस्या हल हो जाती है। इस प्रागुक्ति की दृष्टि से बोह्र के मूल सिद्धान्त में यमी यही थी कि क्वाटम-सन्नमण की प्रायिकता का मान मालूम करने की विधि पात नहीं थी। प्रत्येक क्वाटम-सन्नमण में और चिरप्रतिष्ठित नियमानुसंग विविरण के विभी एन सरल-आवत मघटक में जानुस्य स्थापित करने के विचारक द्वारा उपयुक्त अननस्यगी दत्ता की सीमाओं में सन्नमण की प्रायिकताओं का मान प्राप्त करने का एक सरल और दृढ़ नियम मालूम हो गया। इसी प्रकार प्रवण का समस्या का भी पूरा हल प्राप्त करने के लिए केवल यही मान लेना बिल्कुल स्वाभाविक और काफी था कि जा स्पेक्ट्रमीय रेखाएँ वास्तव में उत्सर्जित हानी ह उनके प्रवण की ठीक वैसे ही हमें जमे कि चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त द्वारा प्रागुक्त होत ह।

क्वाटम सिद्धान्त की कमियाँ को पूरा करने के लिए इन असंशय^१ प्रतिष्ठा के सपानन की जो विलक्षण योजना बनायी गयी थी दुभाग्यवश उसका प्रत्येक अंश केवल बड़ी क्वाटम-सन्नमण के क्षेत्र में ही तथ्यपूर्ण माना जा सकता था। किन्तु परमाणु के सिद्धान्त की दृष्टि में व्यवहारत यह क्षेत्र सबसे कम चित्ताकर्षक ह क्योंकि उत्सर्जन की कुछ खाम असाधारण अवस्थाओं को छोड़कर परमाणवीय इलकान सग छापी क्वाटम-सन्नमण से सम्बद्ध स्थावर अवस्थाओं में ही अवस्थित हाने हैं और साधारण स्पेक्ट्रमीय रेखाएँ ऐसी ही अवस्थाओं में होनेवाले सन्नमण के द्वारा उत्सर्जित होती ह। फलत वास्तविक क्वाटमीय आवर्तियों में और परमाणु की सन्नमण से पहले का अथवा बाद की अवस्थाओं के लिए चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त द्वारा प्रागुक्त आवर्तियों में कोई भी सरल सम्बन्ध नहीं है। फिर भी बोह्र ने अत्यन्त माहमपूवक यह मान लिया कि बड़ी क्वाटम-सन्नमण के लिए जा जानुस्य स्थापित हो गया ह उसे छापी क्वाटम सन्नमण के लिए भी वहिर्वर्णित^२ करने से यह सम्भव हो जाना चाहिए कि चिरप्रतिष्ठित विधि से तीव्रता और प्रवण का जा मल्याकन हा जाय उन्मी की सहायता से वास्तविक तीव्रताओं और प्रवणों की भी प्रागुक्ति मनिमटत ता हो ही जाय। यहाँ बहुत विस्तार

पूरा यह रहा गंगाया जा गया कि बाढ़ न आ जाय नियम का परिणत रूप
 रित प्रसार मान्य किया। हम कहते हैं कि यह नियम कि बाढ़ न आ जाय नियम
 रित न सार्थक मंगल का प्राप्ति का कारण इससे और अधिक सार्थक इससे
 व मध्यमार्ग जायाकर जयया-ममूह व गिरि गिरिप्रतिष्ठा विधि व परिणति गंगाया
 का जीवा मात मान्य किया। यद्यपि यह प्रसार रितित साधुस्य नियम व जा
 गच्छ और सामान्यतः यथा परिणाम श्री प्राप्ति का है व सार्थक मा में लगी पाणा
 हानी है कि हम नियम का परिभाषा यत्न तुल्य नियम व आर पुनः इसात्म गिना
 व टीका में गंगा मुक्तिरित निष्ठा का है गंगा व। किन्तु हम जानते हैं कि गंगा
 यात्रिका के तीर में लगी परिभाषा का यत्न अधिक पूजा प्राप्ति का गया है।
 वा भी है। वा में यह स्पष्ट हो गया कि बाढ़ का प्रभुत धारणा का मान्य यत्न ही
 अधिक है। यह धारणा जल गंगापर गिद्ध दूध कि यद्यपि रिष्टा गंगरीय
 मिठाल बढाने का नहीं है तथापि प्राप्तिरित सार्थक मिठाल व यथा नियम
 व प्रगतिशील जातिप्रमाण में लगे जयन यत्नय पथ प्रसार दिया है। जानुस्य
 की यथाय विधि दूरी पर आश्रित है और दूरी विधि के अंग पर और आश्रित
 व कयमानुसार वापनहगन की भावना में पूजा हान व सार्थक ही प्राप्ति के गिद्धा का
 हम माग में प्रगति करने में और जगा कि हम गीत्र ही सार्थक अनेक उद्गम्य जाति
 पार करने में सफलता मिली है।

३. जानुसूच्य नियम के कुछ उपयोग

इस जानूप्य नियम में ही विविध स्पन्द्रीय रसाभा की तीव्रता का पर्यव—
 षम में हम मन्त्रित परिपक्व—समय हुआ है चाहें रसाभा सामान्य स्पन्द्रीय की हों,
 चाहें स्तर प्रभावे जयना जीमान प्रभावे द्वारा विरुद्ध स्पन्द्रीय की हों। ऐसे परि-
 गणना के परिणामों में सामान्यतः प्रयोग के साथ मनापजनन मागत्य पाया गया है।

तीजना व एम मृ-यानना वा एर सबम अभिर महत्तपूण उपयाग एमी स्पन्दमीय रेखाजा व सम्प्र-म में हुआ है जिनसे उमजन वा तीजना वाह के जावति नियम के अनु-सार गूय हाती है जयान वा प्रानि स्पन्दम म मयथा अनुपस्थित हाती है । इस विषय वा स्पष्ट कर दना लाभदायक हागा । जय त्रिगा परमाणु की ममस्त म्थावर अवस्थाएँ जात हा और इमलिए उमने सब स्पन्दमीय पद जान हा तो वोह के नियम के अनुसार दा-दा स्पन्दमीय पदा क मयानन म हमे तुरत ममस्त मभव म्बेन्दमीय रेखाजा वा जान

हा जाता है। अतः यदि इस प्रकार परिवर्तित रेखाओं की सूची का मिलान वास्तव में प्रेक्षित रेखाओं की सूची में किया जाय तो यह प्रकट होता है कि सभी प्रागुक्त रेखाओं का प्रेक्षणगम्य उत्पन्न नहीं होता। दूसरे शब्दों में स्पेक्ट्रमीय पदा के मद्योजना के द्वारा समस्त वास्तविक रेखाओं की आवृत्तियाँ तो निर्दिष्ट हो जाती हैं, किन्तु इसका उत्पन्न ज्ञान सही नहीं निकलता क्योंकि स्पेक्ट्रमीय पदा के समस्त संयोजना में प्राप्त ज्ञान नियम" भी प्राप्त होने चाहिए जिनमें हम यह जान सकें कि स्पेक्ट्रमीय पदा के संयोजन कौन-से हैं जिनका सम्बन्ध वास्तव में प्रेक्षणगम्य रेखाओं से होता है। इस बात के लिए पदा के संयोजना द्वारा प्रागुक्त रेखाओं के अभाव का यह अर्थ ममया गया कि ये सिद्धांततः विद्यमान रेखाएँ साधारणतः शून्य तीव्रता के साथ उत्सर्जित होती हैं। इस मत का ममयन इस बात से हो जाता है कि कुछ असाधारण परिस्थितियों में दया विशेष रूप से प्रचंड वैद्युत बल के प्रभाव से कभी-कभी परमाणु में से ऐसा रेखाओं का भी उत्पन्न हो जाता है जो सामान्यतः स्पेक्ट्रम में अनुपस्थित रहती हैं। अतः आनु रूप्य नियम के अनुसार हम यह कह सकते हैं कि साधारण परिस्थितियों में कुछ विना प्रकार के संयोजना की आनुपंगिक रेखाओं की तीव्रता शून्य होती है और इसका अर्थ यह है कि उस परमाणु में ऐसे संयोजन होने की प्रायिकता शून्य होती है। उदाहरण के लिए स्थायी इलेक्ट्रॉन कक्षा की निर्दिष्ट करनेवाली क्वांटम-संख्याओं में से उस क्वांटम संख्या को छोड़िए जा 'दिगशीय क्वांटम-संख्या' कहलाती है। आनु रूप्य नियम यह बताता है कि सामान्य परिस्थितियों में उही संयोजना की प्रायिकता शून्य नहीं होती जिनमें इस दिगशीय क्वांटम-संख्या में वृद्धि या कमी केवल १ के बराबर होता है। इससे निम्नलिखित वर्णन नियम प्राप्त होता है। 'साधारण परिस्थितियों में उन सब स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की तीव्रता शून्य होती है अर्थात् वास्तव में वे ही रेखाएँ स्पेक्ट्रम में अनुपस्थित होती हैं जिनमें सम्बंधित संक्रमणों में दिगशीय क्वांटम-संख्या में वृद्धि या कमी १ के बराबर नहीं होती।' यह वर्णन नियम जिसके साथ अन्य भी एक ही नियम और जुड़ गये हैं सभी प्रकाशीय तथा एक्स-किरणीय स्पेक्ट्रमों में बहुत अच्छी तरह सत्यापित हो चुका है और इसके द्वारा ऐसी रेखाओं के वर्गीकरण में भी बहुत सहायता मिलती है जिनकी पहचान न हो चुकी हो। आनु रूप्य नियम ने इन वर्णन नियमों के सैद्धान्तिक अर्थ का प्रकट करने में बहुमूल्य काम किया है यद्यपि इनमें पद

भी अथ युजितया से इन वरण नियमों का मद्धान्तर समर्थन करने के कुछ प्रमाण दिये गये थे, यथा, रुबिनिविज^१ द्वारा।

पटाटम सिद्धांत से प्रकाश के वण विभेपण की घटना की व्याख्या देना बहुत कठिन था। प्रयोगों से ज्ञात होता है कि वतनाव^२ का परिवर्तन वस्तुतः प्रकाश की आवृत्ति के एक फलन के द्वारा व्यक्त किया जा सकता है। कुछ श्रांतिक आवृत्तियाँ के निकट वतनाव के ये परिवर्तन बहुत ही धीमे हो जाते हैं। ये श्रांतिक आवृत्तियाँ उस पदार्थ में से उत्पन्न हानेवाली स्पेक्ट्रमीय रेखाओं के बिल्कुल बराबर होती हैं। पुराने सिद्धांतों से भी इन परिवर्तनों की काफी अच्छी व्याख्या हो जाती थी और वण विभेपण की घटना की संतोषजनक भीमामा हो गयी थी। विभेपक इन्टरफेरेणसिद्धांत में तो यह माना जाना था कि समस्त भौतिक परमाणुओं में ऐसे बहुत आवाग विद्यमान होते हैं जिनमें किसी सतुल्य बिंदु के इधर उधर सरल-आवत दालन करने की क्षमता होती है (इलेक्ट्रॉनिक दालन) और ये आवाग अपने दालनों के द्वारा विकिरण उत्पन्न करते हैं। अतः इन परमाणवीय दालकों की आवृत्तियाँ उस परमाणु की स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की आवृत्तियों के बराबर ही होती चाहिए। परमाणु पर पड़ने वाला एक-वण प्रकाश उसके आन्तरिक दोलकों में प्रणादित दालन^३ किस प्रकार उत्पन्न करता है और आपतित तरंग के प्रचरण पर इन परमाणु-गर्भीय दोलकों के प्रणादित दोलनों की क्या प्रतिक्रिया होती है इन प्रश्नों के अध्ययन के द्वारा इलेक्ट्रॉन-सिद्धांत की आवृत्ति फलन के अनुसारी वतनाव परिवर्तन के लिए ऐसा वणविभेपण सूत्र प्राप्त करने में सफलता मिल गयी थी जो प्रयोग के सबंध अनुकूल था। इस सूत्र में विभेपण की श्रांतिक आवृत्तियाँ इलेक्ट्रॉनिक दालनों की नज आवृत्तियों के बराबर थी अर्थात् उस पदार्थ की स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की आवृत्तियों के बराबर थी। और इस बात में वास्तविकता का मातृत्व भी था। किंतु बोह्र के सिद्धांत से वण विभेपण की व्याख्या करना और भी अधिक कठिन था। बोह्र के परमाणु में इलेक्ट्रॉनों के कक्षीय परिव्रमण की यात्रिक आवृत्तियों में स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की प्रकाशीय आवृत्तियों का कोई भी सरल सम्बन्ध नहीं है। इन आवृत्तियों का सम्बन्ध तो मज्जमण में है, न कि अवस्थाओं में। अतः यह समझना बहुत कठिन है कि परमाणु की यात्रिक अवस्था में किसी बाह्य प्रकाश-तरंग द्वारा प्रेरित परिवर्तन

1 Rubinnicz 2 Dispersion 3 Index of refraction 4 Critical frequencies 5 Forced oscillation

वर्ण विक्षेपण की घटना को कैसे उत्पन्न कर सकता है, क्योंकि यहाँ मुख्य काम स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की प्रणालीय आनतिमा द्वारा सम्पन्न होता है, न कि परमाणु की यांत्रिक आवृत्तियों द्वारा। बाह्य और उनके अनुयायियों से यह कठिनाई छिपी हुई रही थी। आनुस्यू नियम का आविष्कार हो जाने पर उन्होंने इस समस्या की भीमामा के लिए भाँ इस नवीन मार्ग का ही अनुसरण किया। १९२३ में बाह्य कदा शिष्य ग्रामम और हाइज़नबर्ग ने वर्ण विक्षेपण का एक क्वांटम-सूत्र प्राप्त करने में सफलता प्राप्त कर ली। यह सूत्र चिर प्रतिष्ठित मिडान्त के सूत्र से सबथा अलग तो नहीं है, किन्तु प्रायोगिक परिणामों से पूर्णतः सुमेलित है। सम्भवतः ग्रामम और हाइज़नबर्ग का तब सबथा निर्विवाद नहीं है, किन्तु आनुस्यू विधि की भावना नहीं उनका निरन्तर प्रेरणा दी थी और उनका पथ प्रदर्शन किया था। हम कह सकते हैं कि इस विधि से प्राप्त सूत्र ठीक वही नहीं था जो पहले चिर प्रतिष्ठित विधि से प्राप्त हो चुका था। उसमें कुछ अतिरिक्त पद भी विद्यमान थे जिनके वास्तविक अर्थ का प्रमाण बाद में 'लाइनवर्ग' के प्रयोगों से मिला था।

वर्ण विक्षेपण सूत्र के अनुसंधान में हाइज़नबर्ग को विस्वास हो गया था कि बोह्र के सिद्धान्त में से प्रत्यक्षतः अप्रैर्य^१ अशा का यथामग्न निकाल कर उनके स्थान में प्रैर्य^२ तत्त्वा का अधिक उपयोग करना बहुत लाभदायक होगा। उदाहरण के लिए इलेक्ट्रॉनों की कक्षीय आवृत्तियों को निरोहित करके उन स्पेक्ट्रमीय आवृत्तियों का उपयोग अधिक करना चाहिए जो बाह्य के नियमों के द्वारा सम्भवता से सम्भव है। यह निश्चित है कि इस विचार ने ही इस युवक वैज्ञानिक को उस मार्ग का निर्माण कराया था जिस पर चलकर कुछ समय पश्चात् उन्होंने क्वांटम-यांत्रिकी का आविष्कार किया।

वर्ण विक्षेपण का क्वांटम मिडान्त ही पुराने क्वांटम सिद्धान्त की सर्वश्रेष्ठ सफलता थी और उसी में उन नियमों के बीज भी विद्यमान थे जो बाद में अकुरित और प्रसन्न होकर नवीन तरंग-यांत्रिकी तथा क्वांटम-यांत्रिकी में बहुत प्रभावशाली सिद्ध हुए।

जाठवा परिच्छेद

तरंग-यात्रिकी^१

१ तरंग-यात्रिकी व उद्गम और मूल धारणाएँ

१९२३ व लगभग यह बहुत कुछ स्पष्ट हो गया था कि बाह्य का सिद्धान्त और पुराना क्वांटम सिद्धान्त चिरप्रतिष्ठित धारणाओं के तथा कुछ अत्यन्त नवीन धारणाओं के बीच की मजिला के समान ही थे और इन नवीन धारणाओं की महायत्ना के बिना हम क्वांटमीय घटनाओं के विवर्णन में गहरे नहीं पैठ सकते। पुराने क्वांटम सिद्धान्त में क्वांटमीकरण के प्रतिपक्ष^१ चिरप्रतिष्ठित यात्रिकी के परिणामों पर किसी-न किसी प्रकार बाहर से चिपना दिये गये थे। क्वांटमीकरण की अनिवार्य अमनतता में (जो सूत्रों में पूर्णांकी क्वांटम-संख्याओं के द्वारा व्यक्त होती है) और किसी भी पुरानी यात्रिकी (यूटन की अथवा जॉन्स्टाइन की) द्वारा निर्दिष्ट गतियों की मततता में विचित्र विपरीतता स्पष्ट है। समस्त प्रत्यक्ष प्रमाणों की महायत्ना से हमें सा एसी नयी यात्रिकी का निमाण में सफल होना अभीष्ट था जिसमें क्वांटम धारणाओं का स्थान सिद्धान्त की आधार गिला में ही विद्यमान हो और उन्हें पुराने क्वांटम सिद्धान्त की तरह विशेष उद्देश्य की पूर्ति के लिए पीछे से न जानना पड़े। आवश्यक है कि इस उद्देश्य की पूर्ति मूलतः भिन्न प्रवृत्तिवाले अनुसंधानकर्ताओं के प्रयास से लगभग एक ही साथ ही अत्यन्त भिन्न मार्गों से हुई थी। एक ओर तो तरंग-यात्रिकी का जन्म हुआ और दूसरी ओर क्वांटम यात्रिकी का। और पहले-पहल तो इन दोनों सिद्धान्तों के स्वल्प और गणितीय पद्धतियों बिल्कुल ही विपरीत जान पड़ी। हम यह समझाने का प्रयत्न करेंगे कि इतने भिन्न दिशाई देनेवाले ये दोनों सिद्धान्त वास्तव में अभिन्न क्या समझ जा सकते हैं और किस प्रत्यक्ष सिद्धान्त हमारे का किसी जय भाषा में गणितीय अनुवाद मात्र है। क्वांटम-धारणाओं पर आधारित नवीन यात्रिकी की स्थापना के ये दोनों प्रयास जा प्रारम्भ में

इतने विमर्शभासी थे, अतः में मिलकर एक हो गये ह और उनके सम्मिलित रूप का ही नवीन क्वाटम सिद्धांत का नाम दिया जा सकता है।

तरंग-यांत्रिकी का जन्म १९२३ में अर्थात् क्वाटम-यांत्रिकी के जन्म १९२५ से कुछ पहले हुआ था। इसने अतिरिक्त गणितीय प्रक्रियाओं की सहायता के बिना ही दूसरे की अपेक्षा पहले सिद्धांत का विवेचन अधिक अच्छी तरह में किया जा सकता है। इसी कारण यहाँ भी पहले तरंग-यांत्रिकी का ही पर्यालोचन किया जाया और क्वाटम-यांत्रिकी के विषय में तथा दोनों सिद्धान्तों के मेलपण के विषय में विचार अगले परिच्छेद में किया जायगा।

सबसे पहले तो उन बातों पर विचार करना आवश्यक है जिनके कारण हमें १९२३-२४ में तरंग-यांत्रिकी की मूल धारणाओं का प्रतिपादन करना पड़ा। उस समय काम्पटन-प्रभाव के आविष्कार से तथा एक्स किरणों के प्रकाश-वर्धन प्रभाव के अध्ययन से आइन्स्टाइन की प्राक्काणिक क्वाटम की धारणा को प्रबल समर्थन अभी मिला ही था। और अब विकिरण की असतत रचना का और फोटॉनों के अस्तित्व का विरोध अत्यन्त दुष्कर हो गया था और प्रकाश के सम्बन्ध में तरंगों और कणिकाओं के दुर्बल विकल्प की प्रखरता बहुत बढ़ गयी थी। यह मान लेना अनिवार्य हो गया था कि विकिरण के गुणों का सम्पूर्ण विवरण देने के लिए तरंग चित्र और कणिका चित्र दोनों का ही उत्तरात्तर उपयोग करने के लिए हम बाध्य हैं और आवृत्ति और ऊर्जा के द्वि-भौतिकीय को आइन्स्टाइन ने अपने फोटॉन सिद्धान्त के मूल में स्थापित किया था उससे ही यह भी प्रकट हो गया था कि क्वाटमों के अस्तित्व में और विकिरण के स्वरूप के इस द्वैत में गहरा सम्बन्ध है। उसी समय ने यह प्रश्न भव्यता उचित समझा जाना लगा था कि क्या तरंगों और कणिकाओं का यह द्विचित्र द्वैत (जिसका प्रकाश इतना स्पष्ट, किन्तु चित्त की उद्भिन्न करनेवाला उदाहरण है) क्वाटमों के इस प्रच्छन्न, निरु-गभीर लक्षणों के समस्त घटना-चक्र में ही निविष्ट नहीं कर देता और क्या हमें यह माना नहीं करनी चाहिए कि जहाँ कहीं भी प्लांक के नियमांक का अस्तित्व प्रकट होता वही सबकुछ उसी प्रकार के द्वैत का भी अस्तित्व अवश्य पाया जायगा। किन्तु तब से प्रश्न भी स्वयं ही उपस्थित हो जाता है कि जब परमाणु की स्थावर अवस्थाओं का अस्तित्व दृक्कृतान के गुणों में प्रिया के क्वाटमों का प्रभाव प्रकट करता है तब यही क्या न समझ लिया जाय कि प्रकाश के ही समान दृक्कृतान के गुणों में भी द्वैत है।

पहल तो यह धारणा बड़ी साहसिक मायूम हुई होगी क्योंकि उन समय तब इलैक्ट्रान सबदा ठीक ऐसे द्रव्य विदु के समान ही प्रमाणित हुआ था जा चिर प्रतिष्ठित यात्रिकी के नियमों का (और विगप परिस्थितियाँ म जाइन्स्टाइन के आपश्चितता मिद्वान्त द्वारा मशार्धित नियमों का) पालन करता है। तब तब व्यतिकरण और विवर्तन की घटनाओं में प्रकट होनेवाले प्रकाश के गुणों के सदा तरंगीय लक्षण इलैक्ट्रान में कभी भी स्पष्ट दिव्वाई नहीं दिये थे। प्रायोगिक प्रमाण के पूर्ण अभाव के कारण इलैक्ट्रान में तरंगीय लक्षणा की धारणा केवल कपोल कल्पित और सबथा अवैतानिक ही समझी जा सकती थी। फिर भी ज्यों ही हमारे मन में यह विचार उत्पन्न हुआ कि शायद इलैक्ट्रान में और अधिक व्यापक रूप से प्रत्येक भौतिक कणिका में भी तरंगीय लक्षणों का अस्तित्व स्वीकार करना उचित होगा त्यों ही कई चित्त को उद्विग्न करनेवाली बातें याद आयीं। पहले परिच्छेद में हम बता चुके हैं कि याकोबी के मिद्वान्त की सहायता से चिर प्रतिष्ठित यात्रिकी में द्रव्य विदु के सभाय गमन-पथा का ऐसा वर्णन सभव हुआ गया था जिससे प्रत्येक वग के गमन पथा की तुलना ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के अर्थ में किसी तरंग प्रचरण की निरूपणा से हो सकती थी। इस अजम्बूत समानता के ही कारण न्यूनतम-त्रिया के नियम का एक तरह से फरमा के न्यूनतम समय के नियम का अनुवाद मान ही समझना सभव हुआ गया था। यह निश्चित है कि प्रकाश विज्ञान और गति विज्ञान के इन विशेष प्रकार के निरूपणों की एक रूपता हर्मिल्टन के समान तीक्ष्ण बुद्धिवाले गणितज्ञों की दृष्टि से छिपी नहीं रही होगी किन्तु ऐसा नहीं मान्य होता कि उन्होंने इसका कोई भौतिक अर्थ खोजने का प्रयत्न किया हो। इसके अनिरिक्त बहुत-सी बातें ऐसी भी थीं जिन्होंने इस प्रयत्न का विरोध किया होगा। सबसे पहली और प्रमुख बात तो यह थी कि याकोबी के सिद्धान्त ने तो तरंग प्रचरण में और किसी विशेष कणिका के सभाय गमन पथा के वग में ही आनुपग स्थापित किया था। किन्तु चिरप्रतिष्ठित धारणाओं के अनुसार प्रत्येक भौतिक वास्तविक अवस्था में कणिका का गमन पथ पूर्णतः सुनिर्णीत होता है और सभाय गमन पथा के समुदाय की धारणा ऐसी अमूर्त है जिसकी कल्पना करने का गणितज्ञों का तो पूर्ण अधिकार है किन्तु ऐसा नहीं मालूम होता कि भौतिक जगत् में कोई वास्तविकता स्वीकार कर सके। दूसरे दाना के गणितीय स्वरूप में भी कुछ ऐसी विभिन्नता विद्यमान थी जिसने प्रकट होता था कि भौतिक दृष्टि में कणिका का गति की तुलना तरंग प्रचरण में नहीं की जा सकती। जस यदि हम चाहें कि कणिका के वग का तरंग के वग के बराबर समय लेता था तो यह उपस्थित होती है कि ये दाना वेग एवं तार मापस्ट्यूडस के नियम में और दूसरी ओर फरमा के

नियम में एव ही प्रकार निविष्ट नहीं है। इन सुपरिचित कठिनाइयाँ के हान हुए भा पर देखकर बड़ा आश्चर्य होता है कि चिरप्रतिष्ठित वैदलेपिक यांत्रिकी में इन स्थान-स्था और तरंग प्रचरण की विरणों का वैधानिक सादृश्य क्रिया के ही माध्यम के द्वारा स्थापित हुआ था अर्थात् ठीक उसी राशि के द्वारा जिस पर क्वाटम आश्रित है। दस्तुन का इस बात से उस भत का समर्थन नहीं हो गया कि निया का क्वाटम ही द्रव्य विद्युत के कणिकामय और तरंग भय स्वरूपा के बीच में बंधन का काम करता है।

इसके अतिरिक्त कुछ अर्थ बाना का भी संकेत इसी ओर था। यदि यह सत्य है कि स्थूल-स्तरीय घटनाओं में मदा ही इलैक्ट्रॉन का सरल कणिका के समान ममा गया है तो परमाणु-गम में उसका अस्तित्व व्यक्त करने के लिए क्या यह अनिवार्य नहीं है कि उस पर क्वाटमीकरण की ऐसी विचित्र शर्तें लगायी जायें जिनमें पूर्णाका का प्रार भाव हो? चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी का उपयोग इलैक्ट्रॉन पर करने के लिए इस प्रकार के प्रतिबंध लगाने की आवश्यकता से उसकी असम्पूर्णता ही प्रकट होती है और यह भी स्पष्ट हो जाता है कि इलैक्ट्रॉन में सरल कणिका के गुण सब विद्यमान नहीं रहते। और करने पर पारमाणविक इलैक्ट्रॉन की म्यावर अवस्थाओं को निर्दिष्ट करने के लिए पूर्णाका का उपयोग भी तो ठीक इसी बात का संकेत करता है। सच तो यह है कि पूर्णाका का उपयोग बहुधा भौतिक विज्ञान की उन सर शाखाओं में किया जाता है जिनमें तरंगों का अस्तित्व माना जाता है यथा प्रत्यास्थता में, गुरु विज्ञान में प्रकाश विज्ञान में। ये अप्रगामी तरंगों की, व्यतिकरण की, और अनुनाद की घटनाओं में भी प्रकट होते हैं। अब यह सोचना अनुचित नहीं था कि क्वाटमीकरण के प्रतिबंध का ठीक-ठीक अर्थ समझने के लिए परमाणु-गर्भीय इलैक्ट्रॉन में भी तरंग के स्वरूपा का अस्तित्व स्वीकार करना पड़ेगा। इसी लिए इलैक्ट्रॉन में और व्यापक सभी कणों का भी फोटॉन के ही समान द्वैत भाव निविष्ट करने का और उसमें निया के क्वांटम के द्वारा अनुबोधित तरंग रूप तथा कणिका रूप दोनों को ही स्थापना करने का प्रयत्न अत्यंत आवश्यक और लाभकारी समझा गया था।

२ कणिका और उसकी आनुपंगिक तरंग

मुख्यतः समस्या क्या थी? अत्यंत ही समस्या यही थी कि किसी कणिका का स्थिति के साथ किसी ऐसी तरंग के प्रचरण का ऐसा सम्बन्ध किम प्रकार स्थापित किया जा

वि जिना तरंग का निर्माण करनेवाली रागिया व तथा रगिना की मत्स्यात्मक रागिया के योग में एक समीकरण प्राप्त हो मग जिनमें नियताव है चित्तमान है । और यह सम्य ध एका भी जाना चाहिए कि तरंग और रगिना के सम्य ध का ध्यान करनेवाले व्यापक नियमा का उपयोग फाटान पर करने में वही गुणगति और गुणयापित समीकरण प्राप्त हो जाय जा प्रमाण-मरगा या और फाटाना का सम्य ध प्रत्य रगत व गि आद्वन्द्वान्त द्वारा म्यापित रिये गये थ ।

इस प्रकार प्रस्तुत समस्या की सीमागा के गि यह स्थाभावित ही था कि पहल उम सरलतम समस्या पर ध्यान दिया जाय जिनमें रगिना की गति सरल मत्स्यात्मक है । उमरा था अचर रह तथा उमरी उजा और मरग भी अपरिवर्ती है । समिति व विचार में स्पष्ट है कि हमने माय एमी ही तरंग का सम्य ध किया जा मरता है जा रगिना की गति की ही दिगा में चल रही है । जब माहूम यह करना है कि इन तरंग की आवृत्ति और तरंग-दध्य में और उमम सम्य धित रगिना की मत्स्यात्मक रागिया में क्या सम्य ध है । आपभिवता व सिद्धांत के व्यापक नियमा से ये परिणाम निजले कि रगिना की उजा तथा फ्यात्र व नियताव के गुणतप के बराबर ही आनुपगिन तरंग की आवृत्ति हागी और फ्यात्र के नियताव में रगिना के सवेग या भाग देने में जा भागफल प्राप्त हागा वह उम तरंग के तरंग दध्य के बराबर हागा । रगिना तथा आनुपगिन तरंग का यह सम्य ध ठीक वही था जिसका आद्वन्द्वान्त में फाटान और उमकी आनुपगिक तरंग के लिए उपयोग किया था । उम तरह से एन महत्वपूर्ण मरूपण सम्व हा गया क्यकि इसके द्वारा प्रमाण और द्रव्य रगिकाआ में बिलकुल एक ही प्रकार व द्वैत की स्थापना हा गयी ।

इसके अतिरिक्त एन जय माग में भी रगिना और उमकी आनुपगिक तरंग का सम्य ध निर्दिष्ट करने की वहा विधि प्राप्त हा गयी । हम कह चुके हैं कि याकाजी व सिद्धांत ने रगिना के गमन-मथ और तरंग प्रचरण की किरण की एकता का व्यक्त करने का यह उपाय बताया था कि रगिना के त्रिया अनुबल को परमा व तरंग-अनुबल से अभिन्न मान लिया जाय ताकि 'यूनतम त्रिया के नियम और 'यूनतम समय के नियम में कोई फरक न रहे । इस उपाय से पुन एक आर ता ऊर्जा और आवृत्ति का तथा दूमरी ओर सवेग और तरंग दध्य के द्युत्तम का अनुपातत्व तुरंत ही प्रकट हा जाता है । हमके बाद आपभिवीय विधि में पुन-स्थापित आनुपगिकता का पुन प्राप्त करने के लिए

वेबल इतना ही काफी है कि इस अनुपातत्व के नियतांक का h के बराबर रख दिया जाए। ऐसा करना स्वाभाविक भी है और हैत वे दोना पदा को क्रिया के बहातम के द्वारा सम्बद्ध करने के उद्देश्य से सुमंगत भी है। तब की इस नयी परम्परा में अप्रतिक्षेप धारणा का कोई प्रभेद उल्लेख नहीं है। अतः यूटनीय यानिकी की परिमीमा में इसका विकास सम्भव है।

इन मूल बातों से ही जानुपगिक तरंग में और कणिका के वेग में जो सम्बन्ध हुआ उस विषय में एक महत्त्वपूर्ण परिणाम और भी आसानी से निकल आता है। तरा निदान से किसी विशेष आवृत्ति की एक-वर्ण तरंग के माय-साथ कुछ सीमित तरंग-संघों के अस्तित्व की भी धारणा आवश्यक होती है जो विविध एक-वर्ण तरंगों के अप्यारारों के द्वारा निर्मित होते हैं। इनमें से उन तरंग-संघों पर ध्यान देना अधिक महत्त्वपूर्ण है जो ऐसी एक-वर्ण तरंगों के द्वारा निर्मित हों जिनकी आवृत्तियाँ किसी विषय मान्य आवृत्ति के आसपास के अत्यन्त छोटे से स्पेक्ट्रमीय क्षेत्र में सीमित हों। हम पहले भी कह चुके हैं कि वास्तव में विद्युत् एक-वर्ण तरंग केवल कल्पना मात्र है जिनके भौतिक अस्तित्व का कोई प्रायोगिक प्रमाण नहीं है। प्रयोगों में जिसे हम एक-वर्ण तरंग कहते हैं वह सदैव ऐसा ही तरंग-संघ होता है जिसकी सघटक तरंगें अत्यन्त स्पेक्ट्रमीय क्षेत्र में सीमित होती हैं। अब यदि किसी तरंग-संघ के प्रचरण का ऐसा परिस्थिति में अध्ययन किया जाय जिसमें प्रत्येक एक-वर्ण तरंग का वेग उसकी आवृत्ति का फलन होता है तब पता चलता है कि सम्पूर्ण तरंग-संघ का वेग उसकी सघटक तरंगों के वेगों का अधिक होता है। यह संघ-वेग संघ की माध्य आवृत्ति के फलन के द्वारा व्यक्त किया जा सकता है और सघटक तरंगों के वेगों के आवृत्ति-अनुचारी परिवर्तन पर भी अवलम्बित होता है। इसका मान जिन सूत्रों के द्वारा मालूम किया जा सकता है वह 'रेड का सूत्र' कहलाता है क्योंकि सबसे पहले ब्रिस्वान अर्बेज भौतिकी लाइ रेड ने ही इस आविष्कार किया था। हम संघ-वेग के इस सिद्धांत का कणिका भी अनुवर्तित करने के लिए उपयोग करने का प्रयत्न कर सकते हैं और तब हम किसी कणिका की किसी विशेष ऊर्जायुक्त गत स्थिति और अचर-वर्गीय गति में तथा उसी स्थिति में प्रचलित तरंग-संघ में अनुवर्तित स्थिति पर गवाह हो सकते हैं जिसकी आवृत्ति उस ऊर्जा में h का भाग देने में प्राप्त होता है के बराबर है। इस प्रकार देखें कि सूत्र का उत्पन्न करने पर हम तरंग-संघ का वेग बिम्बनिष्ठित यानिकी द्वारा निर्णित कणिका-वेग के बराबर

निकलता है। यह आश्चर्यजनक मेल बहुत सतोपजनक है क्योंकि इसका अर्थ यह होता है कि ऐसी गति में कणिका अपने आनुपगिक तरंग-संघ के साथ बराबर जुड़ी रहती है। इसके अतिरिक्त माधारण तरंग सिद्धान्त से हमें यह भी मालूम है कि यह संघ वेग तरंग की ऊँचाई के परिवर्तन के वेग के अतिरिक्त और कुछ नहीं है। और चूँकि हमारी दृढ़ धारणा के अनुसार ऊँचाई का निवास कणिका में भी रहता है अतः आनुपगिक तरंग का संघ-वेग कणिका के वेग के बराबर होना ही चाहिए।

इन सन्तुलन प्रथम परिणामों में अपूर्णता थी क्योंकि वे केवल बल क्षेत्र के अभाव में होनेवाली कणिका की सरल रेखीय अचर-वर्गीय गति के ही लिए प्राप्त किये गये थे। किन्तु इनका अधिक व्यापक बनाने में कठिनाई ज्यादा नहीं थी। उदाहरण के लिए किसी अपरिवर्ती बल क्षेत्र में कणिका की गति पर विचार कीजिए। याकोबी के सिद्धान्त के अनुसार कणिका के गमन-पथ को हम किसी विशेष तरंग प्रचरण की किरण समझ सकते हैं और यूनितम निया नियम तथा फर्मा के नियम की एकात्मता के कारण कणिका तथा उसकी तरंग का सम्बन्ध प्रकट करनेवाले समीकरण हमें पुनः प्राप्त हो जाते हैं जिनके अनुसार कणिका की अपरिवर्ती ऊँचाई तरंग की आवृत्ति और h के गुणन-फल के बराबर होती है और कणिका का संवेग (जो बल क्षेत्र में बिंदु बिंदु पर बदलता जाता है) और आनुपगिक तरंग के तरंग दैर्घ्य के भागफल के बराबर होता है। यह तरंग दैर्घ्य भी बिंदु बिंदु पर बदलता रहता है। और भी अधिक व्यापकता के लिए ऐसे बल-क्षेत्र पर विचार कीजिए जो समय के साथ बदलते भी रहते हैं। अब भी सक्ता हमें कणिका की गत्यात्मक राशियाँ m और आनुपगिक तरंग की आवृत्ति तथा तरंग दैर्घ्य जमी राशियाँ में उसी रूपवाले समीकरण प्राप्त हो जाते हैं।

कणिका और उसकी आनुपगिक तरंग के जानुस्पर्श के इस व्यापकीकरण का निम्नलिखित उपयोग यह स्पष्ट प्रकट करता है कि हम ठीक रास्ते पर हैं। यदि हम इस बात का विवेचना करें कि तरंग सिद्धान्त के अनुसार इलेक्ट्रॉन की आनुपगिक तरंगें बोल्ट्ज व परमाणु के अंदर किस प्रकार आचरण करती हैं तो हम क्वांटमीकरण के प्रति संशय का वास्तविक अर्थ समझ में आ जायगा। ये प्रतिबंध इस बात को प्रकट करते हैं कि इलेक्ट्रॉन के गमन पथ की लम्बाई उसकी आनुपगिक तरंग के दैर्घ्य की अनुनादी होती है। दूसरे शब्दों में पारमाणविक इलेक्ट्रॉन की स्थावर अवस्था में आनुपगिक तरंग स्वयं भी तरंग सिद्धान्तीय अग्रगामी तरंग होती हैं।

इस परिणाम का वास्तविक महत्त्व समझने के लिए यह याद दिलाना आवश्यक है कि अप्रगामी तरंग कैसी होती है। जिस माध्यम में तरंग प्रचरण हो सके यदि वह सीमित हो तो उस माध्यम में अप्रगामी तरंग उत्पन्न हो सकती है अर्थात् उसमें एम कम्पन (वाइब्रेशन) उत्पन्न हो सकती है जिनका आकाशीय रूप काल प्रवाह के कारण बदलता नहीं। इन कम्पना का रूप तरंग-समीकरण के स्वरूप के द्वारा, माध्यम की सीमाओं की आवृत्ति के द्वारा तथा इन सीमाओं पर विद्यमान परिस्थितियों के द्वारा निर्णीत होता है। जैसे बहुधा ऐसा होता है कि माध्यम की सीमाओं पर उपस्थित परिस्थितियाँ वहाँ पर कम्पना के आयाम¹ का शून्य बना देती हैं (यथा दोनों सिरों पर आवद्ध² कम्पनशील तार, दाना सिरों पर विलागित³ रेडियो का एरियल) ऐसा अवस्था में हमें तरंग-समीकरण के ऐसे हल चाहिए जो काल की अपेक्षा आवृत्ति के हों, जिनके आयाम माध्यम में सबत्र परिमित⁴, एकमानीय⁵ तथा सतत⁶ हों और माध्यम की सीमाओं पर शून्य के बराबर हों। यह समस्या आकाश के किसी समान क्षेत्र के लिए तथा उसकी सीमाओं की विशेष परिस्थितियों के लिए व्युत्पन्न अथवा आशिक अवकला⁷ के समीकरणों के इष्ट-मान⁸ मालूम करने की गणितीय समस्या ही है। इसके बहुत से सरल उदाहरणों से सभी भौतिकज्ञ परिचित हैं। यथा अप्रगामी प्रत्यास्थ तरंगों⁹ जो अचल सिरोंवाले कम्पनशील तार में उत्पन्न होती हैं और जिनकी आवृत्तियाँ किसी मूल-आवृत्ति के पूर्णांकी अपवर्त्या के बराबर होती हैं और अप्रगामी विद्युत-चुम्बकीय तरंगों जो रेडियो के ऐंमे एरियल¹⁰ में पैदा होती हैं जिसका एक सिरा तो विलागित हो और दूसरा भस्मपूत हो और जिनके तरंग-दैर्घ्य एरियल की लम्बाई से चार गुनी लम्बाई में समागत¹¹ विषम पूर्णांकों¹² का भाग देने से प्राप्त होते हैं।

जिस तरंग-यात्रिकी का हम जिक्र कर चुके हैं उसकी विचारधारा का उपयोग परमाणु के लिए करने पर हम इस परिणाम पर पहुँचते हैं कि बाह्य की स्थावर अवस्थाएँ वे ही होती हैं जिनमें पारमाणविक इलक्ट्रॉनों की आनुपंगिक तरंगें अप्रगामी होती हैं। इस बात को अस्वीकार नहीं किया जा सकता कि यह व्याख्या क्वांटमीय प्रतिक्रिया के वास्तविक अर्थ पर बहुत प्रकाश डालती है और जिन मूल धारणाओं की स्पष्टता ऊपर बतायी गयी है उनकी तथा उनके द्वारा कणिकाओं के साथ तरंगों की आनुपंगिता स्थापित करने की विधि की यथायथा का अत्यन्त प्रायत्न¹³ बना देती है। फिर भी

1 Amplitude 2 Fixed 3 Insulated 4 Finite 5 Single valued
6 Continuous 7 Derivatives 8 Partial differentials 9 Proper values
10 1 Elastic waves 11 Antenna 12 Successive 13 Odd integers 14 Probable

दा कठिनादया अधिन स्पष्टता म हमारे सामने उपस्थित होती है जिनका यहाँ बताया जाता है कि उचित है क्योंकि जाने जिन विषयों का विवरण दिया गया है उन्हें अच्छी तरह समझने के लिए इन कठिनादया का अध्ययन करना ही जरूरी है।

पहली कठिनाई का कारण तो यह है कि परमाणु की स्थावर अवस्था की आनुपगिक तरंगों की अप्रगामिता का निर्धारण करने के लिए हमने एक सूत्र का उपयोग किया है जिसमें कणिका की गति की आनुपगिनता एसी तरंग से स्थापित होती है जिसका प्रचरण ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान द्वारा निर्दिष्ट विधि से होता है। जो धारणाएँ बदलेपि यात्रिकी में सुपरिचित हैं वस्तुतः उही का क्वांटमीय भाषा में रूपान्तरित करके चिरप्रतिष्ठित पद्धति में निर्दिष्ट कणिका के गमन-पथों में और तरंग प्रचरण की किरणों में आनुपगिक स्थापित किया गया है। हम परिच्छेद २ के पृष्ठ २ में बता चुके हैं कि तरंग मिथ्यात्व के व्यापक दृष्टि-क्षेत्र में ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान केवल प्रथम सन्निकटन मात्र है और वह अभी तक माय हो सकता है जब तक कि प्रचरण स्वच्छ हो तथा उसके भाग में कोई 'क्वांट' उपस्थित न हो और साथ ही प्रचरण का वह एक बिंदु से परवर्ती पादवस्थ बिंदु तक पहुँचने में बहुत गीघ्रता में न बदले। किंतु यह समझना आसान है कि पारमाणविक इलेक्ट्रॉन की आनुपगिक तरंग के सम्बन्ध में हमारी गत पूरी नहीं होती। जहाँ परमाणु की क्वांटम अवस्था की आनुपगिक तरंगों की अप्रगामिता को प्रमाणित करने के लिए जिस विधि का उपयोग किया गया था वह कठोर नियमानुबल नहीं समझी जा सकती। समस्या को यथाथ रूप में प्रस्तुत करने के लिए यह आवश्यक है कि इलेक्ट्रॉन की आनुपगिक तरंगों का प्रचरण-समीकरण स्थापित किया जाय और तब उस समीकरण द्वारा नियमित परमाणु गर्भों में तरंगों के दृष्ट माना की जा समस्या उपस्थित हो उसका हल निकाला जाय। जगत् अनुच्छेद में हम देखेंगे कि इस समस्या को कैसे हल किया गया था और किस प्रकार उस हल के परिणाम प्रारम्भिक सन्निकटित निगमना से अविरोधी निकले। किंतु यहाँ उस व्यापक धारणा पर जोर देना आवश्यक है जो उपयुक्त विवेचन में निहित है। वह महत्वपूर्ण धारणा यह है कि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान केवल एक सन्निकटन मात्र है जो कुछ विशेष परिस्थितियों में ही माय है और चूंकि चिरप्रतिष्ठित यात्रिकी में और ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान की विधि में निर्णीत तरंग प्रचरण में आनुपगिक स्थापित हो गया है इसलिए ऐसा मालूम पड़ता है कि चिरप्रतिष्ठित यात्रिकी भी

और यह प्रमाणित किया जा सकता है कि यदि आराम के किसी प्रयोग में अप्रगामी सम्पन गमन हो तो चाहिए कि सम्पन क्या नहीं वह जान परिमित जयवा अनन्त सम्पन सम्पना का अध्ययनपण गमना का गमना है। इन ध्यान धारणाओं का उपयोग क्वांटमिनि परमाणु निर्याता के लिए करने पर उपयोग कठिनाई तुरन्त प्रयोज्य हो जाती है। यान्त्रिकी प्राग्भित धारणाओं के अनुसार यह जानकर कि परमाणु मजदा विनोद विनोद स्थावर अवस्था में रहें। यदि क्वांटम में निश्चित अगमनता का पता से ही मान लिया जाय तो परमाणु की अवस्था के चिरप्रतिष्ठित यात्रिकीय चित्र के विरुद्ध कोई भी बात नहीं उठायी जा सकती। किन्तु यदि यह मान लिया जाय कि स्थावर अवस्थाओं में जो अप्रगामी सम्पना में आनुप्य होता है तो ऊपर बताया हुआ ध्यापन निदान हम यह कहने के लिए बाध्य करेगा कि यह बात वही जमाधारण होगी कि किसी परमाणु की तत्पश्चात् अवस्था जरूरी एक ही स्थावर अवस्था का रूप ले। साधारणतः वह जनेव स्थावर अवस्थाओं के अध्ययन का परिणाम होती है। चिरप्रतिष्ठित धारणाओं के अनुसार तो यही कहना पड़ेगा कि यह कथन जयहीन है क्योंकि इस बात की कल्पना ही नहीं हो सकती कि कोई भी परमाणु एक ही समय में अनेक विभिन्न अवस्थाओं में रहे। इस कठिनाई से यह स्पष्ट हो जाता है कि नवीन यात्रिकी के विषय के लिए चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान की मूल धारणाओं में गंभीर परिवर्तन करना आवश्यक होगा। जमा हम पहले ही यह चुने हैं कि परिवर्तन की आवश्यकता बीजक से किया के क्वांटम के अस्तित्व में ही विद्यमान है। हम यद्यपि ही देखेंगे कि अनवर अवस्थाओं के अध्ययन का नवीन यात्रिकी के प्रायिकता मूलक निवचन के ही द्वारा सायन्तता प्राप्त हो सकती है।

३ श्रोडिंजर की गवेषणा^१

तरंग-यात्रिकी के तरंग-समीकरण को सबसे पहले १९२६ में प्रकाशित लेखा में स्पष्ट रूप से लिखने का और उसके द्वारा क्वांटमीकरण की समस्याओं के अध्ययन की कठारत यथाय विधि के आविष्कार का श्रेय जर्बिन श्रोडिंजर^२ का ही प्राप्त हुआ था। तरंग-यात्रिकी में कणिका की आनुपयिक तरंग का समीकरण लिखने का प्रारम्भ हम इसी धारणा से कर सकते हैं कि नवीन निदान की दृष्टि में प्राचीन यात्रिकी भी ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के ही समान एक सन्निकटन मात्र है। यात्रिकी

1 Probability interpretation ~ The work of Schrodinger 3 Erwin Schrodinger

के सिद्धान्त में कणिका के गमन-पथ उस तरंग प्रचरण की किरणा के समान सम्य जात है जिसके तरंग-पृष्ठ याकाजी के समीकरण के नाम से प्रख्यात प्रथम वण¹ और द्वितीय घात² के आशिय अवकल समीकरण³ के द्वारा निर्णीत होता है। हम परिच्छ⁴ २ में २ में पहले ही बता चुके हैं कि याकाजी के समीकरण का रूप ठीक वसा ही है जसा कि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के मूल समीकरण का और वस्तुतः यही कारण है कि याकोबी के सिद्धान्त में और तरंग प्रचरण के सिद्धान्त के ज्यामितीय सन्निकटन में बराबरी सादृश्य है। अतः तरंग-यात्रिकी के तरंग-समीकरण का चयन ऐसा होना चाहिए कि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के अनुरूपी समीकरण का जिसकी सत्यता के लिए आवश्यक प्रतिबंधों को हम पहले ही निश्चित कर चुके हैं, याकोबी के समीकरण से तात्पन्न हो जाय। इस बात को पूरा करनेवाले तरंग-समीकरण के निर्माण के लिए श्रोडिंजर ने जिस माग का अनुसरण किया वह निम्नलिखित है। पहला ता ऐसी पद-संहति⁵ प्राप्त की जाती है जिसमें प्रस्तुत समस्या के निकाय की ऊर्जा का चिर प्रतिष्ठित परिभा की विधि से कणिका के निर्देशांका और उसके सवेग के सघटका के फलन के रूप में व्यक्त किया गया हो। फिर इस व्यञ्जक में (जिसे यानिकी में हैमिल्टोनियन⁶ कहते हैं) सवेग के प्रत्येक समकोणिक सघटक के स्थान में तत्समगत निर्देशांक-भाषण-अवकलन संकेत और 'लाव' के नियतांक⁷ के किसी अपवर्त्य के गुणनफल को प्रतिस्थापित कर दिया जाता है। इस प्रकार हैमिल्टोनियन एक प्रकार की प्रक्रिया⁸ के सकार में परिणत हो जाता है जिसे हैमिल्टोनियन कारक⁹ कहते हैं। इसके बाद निकाय के तरंग फलन¹⁰ पर (जो सदैव ग्रीक अक्षर ψ के द्वारा व्यक्त किया जाता है) यह कारक आरोपित कर दिया जाता है और इस कारक की प्रक्रिया के परिणाम का तरंग फलन के काल-सापक्ष अवकल और उपयुक्त नियतांक के गुणनफल के बराबर रखकर समीकरण बना लिया जाता है। इस प्रकार प्राप्त किये हुए समीकरण का हम कणिका के तरंग-समीकरण समझ सकते हैं क्योंकि ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के सन्निकटन में यह ठीक उसी याकाजी-समीकरण में परिणत हो जाता है जो प्रस्तुत समस्या के लिए चिरप्रतिष्ठित यात्रिका के द्वारा प्राप्त होता है।

कणिका को आनुपमिक तरंग के प्रचरण के लिए इस प्रकार प्राप्त समीकरण है

1 First order 2 Second degree 3 Partial differential equation

4 Expression 5 Hamiltonian 6 Symbol of differentiation 7 Operation

8 Hamiltonian operator 9 Wave function

सम्यक् में यहाँ कुछ बात रहना चाहता है। दूसरी बात यह है कि हम समीकरण में तरंग फलन अदिष्ट^१ माना गया है—शुद्ध^२ रही। प्रत्या-तरंग में जोर कणिका की हम आनयगिर तरंग में यह बात मन्त्रपूर्ण भूत है। किन्तु यह विनिश्चित है कि प्रत्या वे तरंग मिद्धान्त के प्रारम्भ में भी प्रत्या ता अदिष्ट राशि ही माना गया था (प्रत्याय चर^३) और जो भी रिक्तन और यंत्रिगण की बहुन-गो घटनाओं की व्याख्या के लिए यही नष्टि-बाण ग्रहण किया जा सकता है। बस ध्रुवण की व्याख्या के ही लिए तरंग फलन में दिष्टता के गुण की आवश्यकता होती है। इसी प्रकार यह जाना जा सकता है कि अदिष्ट तरंग फलन भी किसी दिन मिद्धान्त व और अत्रि विनिश्चित होने पर जनक सफटवाजाल नष्ट फलन में परिणत हो जायगा। जगत् चलकर हम प्रागुक्ति या समयन डिग्व के सम्बन्धीय इन्स्ट्रान^४ के मिद्धान्त के द्वारा प्रमाणित होगा किन्तु फिर भी हम दायें कि हमने इन्स्ट्रान और फलन के मिद्धान्त में पूर्ण समानता स्थापित नहीं हो सकेगी।

तरंग प्रचरण के हम समीकरण के सम्यक् ॥ दूसरी बात यह है कि यह सम्मिश्र^५ ह अथवा हमने सभी गुणाव वास्तविक मख्याएँ नहीं हैं और हममें १-१ की कल्पित राशि^६ का समावेश है। पहले-पहल यह बात बड़ी विचित्र मान्य पड़ती है, किन्तु हममें प्रसन्न हो जाता है कि चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान की तरंगों में जिन भौतिक गुणों का अस्तित्व माना गया था वही गुण तरंग-यांत्रिकी की ५-तरंगों में भी मानने में त्रितीय बड़ी बठिनाई है। चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान में तरंगों जिन राशियों का प्रचरण करती है व ऐसे मायम के रूपना में उत्पन्न होती हैं जिसका अस्तित्व या तो अमदिष्ट है या उसकी वरपना कर ली गयी है (जैसे प्रकाश के चिरप्रतिष्ठित मिद्धान्त में ईयर की कल्पना की गयी है) और चूँकि वे तरंग वास्तविक घटना का निर्माण करती हैं इसलिए यह आवश्यक है कि वे वास्तविक फलन के ही द्वारा व्यक्त हो। जहाँ कि बहुधा प्रत्या-यंत्रात्मक पत्रिगण में होता है। अभी अभी इन वास्तविक मख्याओं के स्थान में ऐसी सम्मिश्र मख्याओं का प्रतिस्थापन लाभदायक समझा जात^७ है जिनका वास्तविक भाग इन मख्याओं के बराबर होता है। किन्तु यह तो केवल परिकल्पना की युक्ति मात्र है जिसका इच्छानुसार सर्वदा ही परित्याग किया जा सकता है। किन्तु इसके विपरीत तरंग-यांत्रिकी के तरंग-समीकरण में ही काल्पनिक गुणों का

1 Scalar 2 Vector 3 Light-variable 4 Magnetic electron 5 Complex 6 Coefficients 7 Imaginary quantity 8 Real function

के अस्तित्व के कारण ϕ -तरंग के फलन का काल्पनिक लक्षण अनिवार्य है और तरंग-यांत्रिकी की तरंग में किसी माध्यम के कम्पनों के समान भौतिक वास्तविकता समझने के सब प्रयत्न विफल हो जाते हैं। नवीन यांत्रिकी के विकास में अब यह राशि केवल ऐसी माध्यमिक^१ राशि समझी जाती है जिसका ज्ञान पाएँ कर लान पर हम कुछ अथ राशिया का परिवर्तन कर सकते हैं। ये दूसरी राशिया ही वास्तविक होती हैं और इन्हीं का कुछ भौतिक अर्थ होता है जो अधिकतर सांख्यिकीय प्रकार का होता है। इस विषय का विवेचन आगे फिर किया जायगा, किन्तु इस समय इस बात पर जोर देना आवश्यक था कि तरंग-यांत्रिकी में प्रचरण का समीकरण कैसे अपने रूप के कारण ही आनुपंगिक तरंग में भौतिकता की धारणा का परित्याग करने के लिए हमें बाध्य करता है।

अभी हमने समझाया है कि कणिका की आनुपंगिक ϕ -तरंग के प्रचरण के समीकरण को व्यापक रूप से उपयोगी बनाने में थॉडिगर का सफलता कस मिली थी। किन्तु इस खोज का प्रारम्भ उन्होंने 'यूटनीय यांत्रिकी' के सूत्रों से किया था। अतः यह तरंग-समीकरण आपेक्षिकता सिद्धान्त की शर्तों का पूरी नहीं करता। इसलिए यह समझना स्वाभाविक ही है कि यह समीकरण केवल बहुत कम वेगवाली कणिकाओं के लिए अर्थात् ऐसी तरंगों के लिए ही सत्य हो सकता है जिनकी आवृत्ति बहुत अधिक नहीं है। अतः अब यह समस्या उपस्थित होती है कि ऐसा आपेक्षिकीय तरंग-समीकरण कैसे प्राप्त किया जाय जिसका सन्निकटित रूप नीची आवृत्तियों के लिए थॉडिगर का समीकरण हो। अनेक वैज्ञानिकों ने प्रायः एक ही साथ इस प्रकार का एक समीकरण प्रस्तुत किया जिसका सूचना बहुत-कुछ स्वाभाविक ही थी। किन्तु यह आपेक्षिक तरंग-समीकरण ब्रॉक्^२ की अपेक्षा द्वितीय क्रम का था और इसने द्वारा कई कठिनाइयाँ उत्पन्न हो गयीं। पहलेवाले तरंग प्रचरण के समीकरण का यथार्थ आपेक्षिकीय स्वरूप कीकरण तो डिरैक^३ ने दूसरी ही विधि में प्रस्तुत किया था।

थॉडिगर ने आपेक्षिकता-हीन प्रचरण-समीकरण का ऐमे रूप में भी प्राप्त किया था जो कणिका निकाय के लिए अर्थात् अर्थात् प्रभावक कणिकाओं के समूह के लिए उपयोगी है। किन्तु चूँकि इसमें जो नयी धारणाएँ निविष्ट हुई हैं उनका विस्तृत अध्ययन की आवश्यकता होगी इसलिए कणिका निकायों की तरंग-यांत्रिकी के विवेचन का हम विभी आगे के परिच्छेद (परिच्छेद १०) के लिए स्थगित रखेंगे।

सन्निकटित मिद्धान्त के सक्नानुसार आनुपगिक तरंगा के अप्रगामी स्था स स्थ अस्थायी का जानुस्य स्वीकार कर लेने से और अपने समीकरण की सहायता से डिगर को क्वाटमित निकाय की रथावर अवस्थाआ को निर्णान करने की समस्य यथायतापूण मीमाणा करने में मफलता मिल गयी । हाइड्रोजन परमाणु के क्वाटमित निकाय को ही लीजिए । इस निकाय में हमे आनुपगिक तरंग के प्रचरण समीकरण ज्ञात ह और यह धारणा भी स्वाभाविक ही ह कि आकाश के स्वरूप प्रद ही इस निकाय के अवस्थित हान के कारण ज्या ज्या निकाय के केन्द्र से दूरी द जायगी त्या-त्या ϕ फक्शन का मान भी शून्य की ओर प्रवृत्त होता जायगा । और गणितीय भौतिक विज्ञान की साधारण परिपाटी के अनुसार हम यह मान ले कि य-फलन सवन सतत¹ और एक मानीय² होना चाहिए । अप्रगामी तरंग के परिवर्तन के लिए प्रचरण-समीकरण के ऐसे एक-क्षण हल प्राप्त करने होंगे जो समस्त आकाश परिमित तथा एक मानीय ह । और अनन्त (इन्फिनिटी) पर जिनका मान शून्य जाय । थ्राडिगर ने अनेक प्रकार के क्वाटमित निकायों के लिए वैश्लेषिक गणि ज्ञात साधना के ही द्वारा इस समस्या को बड़ी नजस्वता से हल कर लिया । और यह नाल हुआ कि निविष्ट प्रतिरक्षा के अनुकूल एक-क्षण हल आवृत्ति के केवल विविष्ट मानों के ही लिए प्राप्त हो सकते हैं । ये हल ही तरंग के आशिक अव समीकरण के इष्ट मान³ हान ह । और उनमें सीमात प्रतिबन्ध⁴ यह होता है कि अन पर ϕ का मान शून्य हो जाता ह । तरंग और कणिका क व्यापक सम्बन्ध के अनु उमकी इष्ट-आवृत्तियाँ की h से गुणा करने से कणिका की क्वाटमित ऊजा प्राप्त हो जाता है । अन अतीत समस्याओं में थ्रोडिगर के परिवर्तन के द्वारा क्वाट ऊजाओं के मान और फलतः स्पेक्टमीय पद ज्ञात हो जाते हैं । इस प्रकार बहु स दशाओं में तो ठीक वही परिणाम निकलना ह जो प्राचीन क्वाटम सिद्धान्त द्वारा निक था । उदाहरण के लिए हाइड्रोजन परमाणु के सम्बन्ध में ठीक बोह्र के ही परिणाम प्राप्त हो जात ह । किन्तु कुछ जय महत्वपूर्ण दशाओं में ऐसे परिणाम निकल जो प्राचीन क्वाटम सिद्धान्त के परिणामों से भिन्न होने ह और इन नवीन परिणाम प्रयोग-सम्बन्ध इगिता से अधिक सागत्य पाया जाता है । इसका उत्कृष्ट उदा रत्निक दाल्व⁵ है । यह स्मरण होगा कि प्लान्क का विकिरण सिद्धान्त में रैखिक द ⁶ जिम क्वाटमीकरण की आवश्यकता हुई थी उसी से क्वाटम सिद्धान्त के स

1 Continuous 2 Single valued 3 Proper values 4 Boundary condition 5 Proper frequencies 6 Linear oscillator

विकास का प्रारम्भ हुआ था। इस क्वाटमीकरण की पुरानी विधि में यह मान लिया गया था कि रैखिक दोलक की क्वाटमित ऊर्जा के मान ऊर्जा के क्वाटम के पूर्णांकों के अपवत्य होते हैं। और वे रैखिक दोलक के यांत्रिक दोलन की वास्तविक आवृत्ति का $\frac{1}{2}$ से गुणा करने से प्राप्त हो जाते हैं। किन्तु कुछ भौतिक घटनाएँ ऐसी भी हैं जिनमें रैखिक दोलक के क्वाटमीकरण की तो आवश्यकता होती है (यथा द्वि-परमाणु अणु के स्पेक्ट्रम में) किन्तु जिनमें ऐसा मालूम होता है कि दोलक की क्वाटमित ऊर्जा उसकी ऊर्जा के क्वाटम और किसी पूर्णांक के गुणनफल के बराबर नहीं रहती $\frac{2n+1}{2}$ वरन् उस क्वाटम और किसी अर्ध-पूर्णक के अर्थात् $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$

धोणी की किसी सख्या के गुणनफल के बराबर होती है। प्राचीन क्वांटम सिद्धान्त के विरुद्ध क्वाटमीकरण की नवीन विधि ने इसी अर्ध-पूर्णक की क्वाटमीकरण की प्राप्ति की थी। इस प्रकार श्रोडिंजर ने प्राचीन सिद्धान्त के यथाय परिणामों को प्राप्त कर लिया और असत्य परिणामों का शुद्ध भी कर लिया। उनकी सफलता में कुछ भी कमी नहीं रह गयी।

इसके बाद एक विचित्र संयोग ने श्रोडिंजर को प्रभावित किया और उन्हें एक रास्ता सुझाया जिससे वे एक अत्यन्त उपयोगी परिणाम पर पहुँच सके। हाइड्रोजन की क्वाटम-यांत्रिकी का विकास उस समय से कुछ पहले ही हो चुका था। यह नया विधि तरंग-यांत्रिकी से सबूतों भिन्न दिखाई देती थी, किन्तु इसके द्वारा भी परमाणुओं का विकास की क्वाटमित ऊर्जाओं के मान ठीक वही निकले जो श्रोडिंजर का विचार निकले थे और प्राचीन क्वांटम सिद्धान्त के परिणामों का इस विधि से भी उतना ही समर्थन या सहायता हुआ। इससे श्रोडिंजर के मन में यह भावना उत्पन्न हुई कि दाना विधियाँ की यह अभिन्नता आश्चर्य नहीं हो सकती और उनकी तुलना बुद्धि न पर भी प्रमाणित कर दिया कि क्वाटम-यांत्रिकी दोनों में सर्वथा भिन्न होने पर भी है बल्कि तरंग-यांत्रिकी का गणितीय स्फूर्तिपूर्ण मात्र। इसका अधिक विवरण तो अगले परिच्छेद में दिया जायगा। यहाँ हम श्रोडिंजर की इस उत्कृष्ट श्रुति की आरम्भिक धारणा का ध्यान ही आकर्षित करना चाहते हैं।

सोमान प्रभाव और उमा के बहुत समकक्ष स्टाक प्रभावों का महत्व निर्दिष्ट है। श्रोडिंजर इन घटनाओं की समस्या की सीमायों तरंग-यांत्रिकी के द्वारा करना

चाहते थे। यह कार्य के लिए 'उत्तान मशाभन' की एक अच्छी विधि का विकास कर लिया। यह विधि मशाभन यात्रिकी की चिरप्रतिष्ठित विधि का ही तर्कमय स्थापन है। जो चुम्बकीय या वद्युत क्षेत्र हम दृष्टिमान गति में उत्पन्न कर मशाभन व द्रव्यमान परमाणवीय निरायण के आसन्न क्षेत्रों की अपेक्षा अत्यन्त ही दुर्लभ होते हैं। क्योंकि जीमान प्रभाव या स्टाव प्रभाव का उत्पन्न करने के लिए परमाणु पर जो मशाभन चम्बकीय या वद्युत क्षेत्र उत्पन्न करा जाता है उस में परमाणवीय निरायण के भीतर प्राकृतिक क्षेत्रों का अत्यन्त मशाभन मात्र ही सम्भव होता है। यदि हम वास्तव क्षेत्रों की अनुपस्थिति में उत्तान के क्वांटम मानों का परिष्कार हम करते हैं तो यह बातें हैं। इन क्वांटम मानों में मशाभन क्षेत्रों के कारण जो धाराएँ सा परिवर्तन होता है वेबल उमी के परिष्कार की आवश्यकता पड़ेगी। श्राडिगर की मशाभन विधि में ही इस समस्या का हल प्राप्त हो गया और इसके द्वारा वे जीमान प्रभाव तथा स्टाव प्रभाव की विभिन्न प्राकृतिक प्रस्तुत करने में सफल हो गये। इन नवीन परिणामों में स्टाव प्रभाव के सम्बन्ध में प्राचीन क्वांटम सिद्धान्त के परिणामों का वेबल समझ ही नहीं हुआ किन्तु कई बातों में ये नवीन परिणाम अधिक यथार्थ भी पाये गये। और जीमान प्रभाव में भी प्राचीन क्वांटम सिद्धान्त में सुगम लारटज की चिरप्रतिष्ठित प्राकृतिकता ही पुनः प्राप्त हो गयी। यह बात मनापजनक है क्योंकि वास्तव में इस प्रभाव में स्थूल ठीक वही घटनाएँ होती हैं जिनकी प्राकृतिक लारटज ने की थी (सामान्य जीमान प्रभाव)। किन्तु लारटज की प्राकृतिकता में सुगम सामान्य जीमान प्रभाव के अतिरिक्त बहुत-सी दशाओं में अत्यन्त जटिल तथा अमगताभासी प्रभाव भी प्रेक्षित होते हैं। ये जटिल प्रभाव न तो चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त के द्वारा और न प्राचीन क्वांटम सिद्धान्त के ही द्वारा समझ में आ सकते थे। और जहाँ समझने में श्राडिगर को तरंग-यात्रिकी के द्वारा भी सफलता नहीं मिली। जीमान प्रभाव की विचित्रताओं की व्याख्या करने के लिए उस सिद्धान्त में एक नवीन अवयव का निविष्ट करना पड़ा जिसे इल्यटान का नवन कहते हैं। इसके विषय में हम किसी जागे के परिच्छेद में लिखेंगे।

और प्रकाश के उत्पन्न और वण विक्षेपण सम्बन्धी श्राडिगर के अनुमानों का अध्ययन भी अगले परिच्छेद के लिए स्थगित रखेंगे।

४ 'इलेक्ट्रानों का विवर्तन'

हम अभी यह बता चुके हैं कि कणिकाओं और तरंगों की आनुपगिकता में तथा तरंगात्मक नहीं यांत्रिकी के निमाण की आवश्यकता के सम्बन्ध में वे लेखक द्वारा प्रतिपादित विचारों ने थॉडिगर के प्रशसनीय रसा में कितनी असाधारण सम्पूर्णता और परिशुद्धता प्राप्त कर ली थी। किन्तु इन्हीं विचारों में तथा मूल विधियाँ में चाहे कितनी ही सुन्दरता क्या न रहा हो और वीथ घटनाओं की सही प्राणुिक के द्वारा उनका सत्यापन कितना हास्य क्या न हो गया हो। फिर भी इन घटनाओं का प्रत्यक्ष प्रायोगिक सत्यापन नहीं हुआ था। १९२७ में डेविसन और गेर्मेर^१ द्वारा इलेक्ट्रान विवर्तन की आविष्कार से यह कमी भी पूरी हो गयी।

कणिकाओं की गति में और तरंग के प्रचरण में घनिष्ट सम्बन्ध हान के विचार उठना स्वाभाविक था कि शायद भौतिक कणिकाओं से (यथा इलेक्ट्रान) भी व्यतिकरण और विवर्तन की वैसी ही घटनाओं की उत्पत्ति संभव हो जमी कि द्वारा फोटॉनों में देखी गयी है और जिनका अध्ययन भौतिक प्रकाश विज्ञान के है। यह मालूम करने के लिए कि कौन-सी घटनाओं का प्रेक्षण वास्तव में संभव है, सबसे पहले आवश्यक यह जानना था कि जिन इलेक्ट्रानों का हम साधारणतः कर सकते हैं उनकी आनुपगिक तरंगों का तरंग-दैर्घ्य कितना है। तरंग-यामों मूलों से इस प्रश्न का तुरन्त ही यथायथापूर्ण उत्तर प्राप्त हो जाता है। साधारण स्थितियों में इलेक्ट्रानों की आनुपगिक तरंगों का दैर्घ्य सदैव अत्यन्त छोटा होता है। एक किरणों के तरंग-दैर्घ्य की काटि का। अतः उनके द्वारा हम केवल उन्हीं घटनाओं का प्रेक्षण करने की आशा कर सकते हैं जो एक किरणों के द्वारा उत्पन्न की जा सकती हैं। यह विदित है कि एक किरण विज्ञान की मूल घटना क्रिस्टलों के द्वारा किरणों का विवर्तन है। एक किरणों का तरंग-दैर्घ्य अत्यन्त लघु होने के कारण लगभग असंभव था कि मनुष्य द्वारा निर्मित किसी भी साधन से इन किरणों का विवर्तन का प्रेक्षण हो सके। मौलाम्पक प्रकृति ने ही हमें ऐसी प्रणति दे दी है जो विवर्तन के लिए बहुत उपयुक्त है। क्रिस्टल ही ऐसी प्रणति है। क्रिस्टलों में सबमणु और परमाणु इस प्रकार नियमित रूप से व्यवस्थित होते हैं कि उनसे विविध

ग्रेटिंग बन जाती है और यह भी हमें पता है कि पूरे निम्स्टल में ये भौतिक कणिकाएँ इस प्रकार वितरित रहती हैं कि उनके बीच की दूरी मदा एक्स किरण के तरंग दध्य की काटि के परिमाण की ही हानी है। अतः किसी निम्स्टल में होकर एक्स किरणा को चलाने में ठीक वैसी ही विवतन घटना उत्पन्न हानी चाहिए जैसी कि प्रकाश के साथ त्रिविमतीय बिन्दु-ग्रेटिंग के व्यवहार में उत्पन्न होती है। यह मवविदित है कि निम्स्टला के द्वारा एक्स किरणा के विवतन की घटना का आविष्कार १९१२ में लावे^१ फ्रीडरिच^२ और निपिंग^३ ने किया था और आजकल के एक्स किरण-स्पेक्ट्रम विज्ञान के विस्तृत विकास का आधार यही आविष्कार है। जो कुछ ऊपर लिखा जा चुका है उसके अनुसार हम यह आगा कर सकते हैं कि इलक्ट्रानों के द्वारा भी ठीक वैसी ही घटना का प्रेक्षण हो सकेगा। किसी पतल गतिज ऊजावाले इलक्ट्रान की किरणावली के उपयोग से हमें ठीक वैसी ही विवतन घटना प्राप्त होनी चाहिए जैसी कि एक्स किरणों के द्वारा उत्पन्न हानी है। ऐसे प्रयोगों में जिन विविध निम्स्टला का व्यवहार होता है उनकी संरचना अनेक विधियों से पता है। ही चुकी है मुख्यतः एक्स किरण स्पेक्ट्रम की सहायता से। अतः इस प्रकार उपलब्ध विवतन-आवृत्तियों के द्वारा उन इलक्ट्रानों की आनुपगिक तरंगों का तरंग दध्य मालूम किया जा सकता है। फलतः कणिका की गति और उनकी आनुपगिक तरंग के तरंग दध्य के बीच में जो सम्बन्ध तरंग-यांत्रिकी द्वारा प्रतिपादित किया गया है उसका मत्यापन भी यथायथापूर्वक हो सकता है।

निम्स्टला के द्वारा इलक्ट्रानों के विवतन के आविष्कार का श्रेय डेविसन और गमर का है जो यूयाक मैग्नेट-टेलीफोन की प्रयोगशाला में काम करते थे। निम्स्टल के निम्स्टल पर एक समान गतिज ऊजावाले इलक्ट्रानों की बाछार करके उन्होंने देखा कि उन इलक्ट्रानों का विलकुल वैसा ही विवतन होता है जैसा कि किसी नियत तरंग दध्यवाली तरंग का होना चाहिए और उन्होंने यह भी प्रमाणित कर दिया कि यह तरंग-दध्य ठीक उतना ही निम्स्टला है जितना कि तरंग यांत्रिकी के सूत्रों द्वारा प्रागुक्त होता है। इस प्रकार इस सूक्ष्म घटना का अस्तित्व प्रमाणित हो गया। यदि कुछ वर्षों पहले कोई इस घटना का जिक्र करता तो अवश्य ही भौतिकशास्त्र के मन में केवल आश्चर्य और अविश्वास ही उत्पन्न होता।

लगभग ७० मी समय एग्लैण्ड में सर जे० जे० टामसन के सुपुत्र जी० पी० टामसन को

भी इलेक्ट्रान विवर्तन के प्रयोग में थाडी-मी भिन्न विधि से सफलता मिल गया और इसके बाद ता शीघ्र ही सबत्र उसकी पुनरावृत्ति हान लगी। परिस्थितियाँ को तब प्रायोगिक व्यवस्थाओं का बदल-बदल कर फास में पाटे^१, जरमनी में रूप^२, जापान में किबूची^३ और अत्यनेक विद्वानों ने इस घटना का अध्ययन किया और शीघ्र ही उसका समस्त सूक्ष्म गानें भी ज्ञात हो गयी। प्रारम्भ में जा वातें समझ में नहीं आयी थी शीघ्र ही उनका भी स्पष्टीकरण हो गया, मुख्यतः यह भासू हो जाने पर कि इलेक्ट्रानों की इन आनुपंगिक तरंगों के लिए क्रिस्टल के आभ्यन्तरिक प्रदेश में वननाव का मान १ से भिन्न होता है। और शीघ्र ही साधारण ग्रेटिंग पर लाभण स्पष्ट रेखीय आपतन^४ के द्वारा भी इलेक्ट्रान विवर्तन सफलता-पूर्वक प्राप्त कर लिया गया {रूप^२ द्वारा} ठीक वैसे ही जैसे कि पहले एक्स किरणों का विवर्तन कामटन^५, थीबो^६ आदि ने प्राप्त किया था। इस प्रकार इलेक्ट्रानों के तरंग-दैर्घ्य की तुलना घातु पट्ट पर पार्श्व उपाय से सीधी हुई रेखाओं की दूरी में भी की जा सकती है।*

प्रारम्भ में तो इलेक्ट्रान विवर्तन की घटना का प्रेक्षण अत्यन्त कठिन जान पड़ा था और इसके प्रेक्षण में सफलता प्राप्त करने के लिए प्रयोगकर्ताओं में बड़े कौशल की आवश्यकता थी। किन्तु अब यह काम अपेक्षाकृत बहुत सरल हो गया है और प्रति दिन ही होता रहता है। इसका उत्पन्न करने के प्राविधिक अथवा तकनीकी^७ मायनों में उत्तम उत्कृष्ट हो गये हैं कि जब तो विद्यार्थियों को यह घटना व्याख्यान-कक्ष में ही दिखाई जा सकती है। 'सब' अतिरिक्त परिस्थितियों को इतनी विस्तृत पराम^८ में बदल-बदलकर इन प्रयोगों में सफलता प्राप्त कर ली गयी है कि अब थोड़े से इलेक्ट्रान बोर्ड^९ से लेकर दस-आठ इलेक्ट्रान-बोर्ड तक के अत्यन्त विभाल ऊर्जा-अन्तर्गत^{१०} में सबत्र कणिका और नरग के सम्बन्ध को व्यक्त करनेवाले सूत्रों की सत्यता का प्रतिपादन दृष्टापूर्वक किया जा सकता है। इन सूत्रों के सत्यापन में अब ऊर्जा के गहन वृद्ध बड़े होते हैं ता स्वभावतः ही आपेक्षिकीय सशोधनवाले पदों का उन सूत्रों में

^१ Ionte ^२ Rupp ^३ Kibuchi ^४ Tangential incidence ^५ Rapp
^६ Compton ^७ Thibaud

* नोट ७ १९४८ में जोड़ा गया—१९४० में बोर्न (Bösch) को बिना एलेक्ट्रानों के उत्पन्न 'रेखागत विवर्तन' के प्रयोग में भी सफलता मिल गयी। यह घटना उन्नी घटना के समूह में जो प्रकाश के सम्बन्ध में प्रेक्षण के समय से ही जान था।

8 Technical 9 Range 10 Electron volt 11 Energy interval

उपयोग करना जरूरी होता है। अतः इसमें आपत्तिकीय धारणाओं का भी परीक्षा समर्थन हो जाता है।

जिन सूत्रों में कणिका की आनुपगिता तरंगों का अध्ययन किया जाता है उसी मान्यता इतनी अच्छी तरह प्रमाणित हो चुकी है कि आज इन्स्ट्रुमन्ट विज्ञान की घटना का उपयोग इन सूत्रों के व्यापन के लिए नहीं किया जाता बल्कि उन्हें गैर-मापक प्रिन्ट लिन या अर्थात् 'अन-यस्त' माध्यमा की मर्यादा का अध्ययन किया जाता है। चिन्तित ये बातें बहुत कुछ प्रातिष्ठित हैं और इस पुस्तक के क्षेत्र में बाहर की हैं। हम यहाँ केवल इतना ही कहना काफी समर्थन है कि इन्स्ट्रुमन्ट विज्ञान के प्रयोगों में कणिका और तरंग की आनुपगिता की जिन धारणाओं में नवीन यांत्रिकी का प्रारम्भ हुआ था उनका चमत्कारी रूप से प्रत्यक्ष समर्थन हो गया है।

इस खंड का समाप्त करने में पहले यह भी बताना उचित होगा कि इन्स्ट्रुमन्ट के अतिरिक्त अन्य भौतिक कणिकाओं के विद्यमान का भी प्रमाण हो चुका है। प्रोटॉन और द्रव्य-परमाणुओं का भी विद्यमान इन्स्ट्रुमन्ट के ही समान होता है। इस विषय के प्रयोग अक्सर कठिन होते हैं और अभी तक उनकी गहरी भी जाँच नहीं हुई है। चिन्तित यह निश्चित है कि यहाँ भी तरंग-यांत्रिकी के सूत्र गहरी निष्ठा हैं। यह कोई आश्चर्य की बात नहीं है। ऐसा जान पड़ता है कि तरंगों और कणिकाओं की आनुपगिता प्रति का एक महत्त्वपूर्ण नियम है और किया के क्वांटम में अस्तित्व और उनकी प्रकृति में यह द्वैत सम्बन्धित है। कोई कारण नहीं है कि उस केवल इन्स्ट्रुमन्ट का ही सीमित समझा जाय। अतः यदि वह समस्त भौतिक सत्ताओं में प्रकट होता है तो हमें जादव्य की क्या बात है।

५ तरंग-यांत्रिकी का भौतिकीय निबन्धन^१

अब हमें यह ज्ञान का प्रयत्न करना चाहिए कि निम्नी निम्नानुसार के तरंग फ़ंक्शन^२ के ज्ञान का क्या उपयोग हो सकता है। प्राचीन यांत्रिकी का ज्योमितीय प्रमाण विज्ञान के समान सन्निकटन मात्र ही थी। अतः हम सन्निकटन की सीमा में रहकर यह यांत्रिकी का और उच्च अध्ययन समस्त धारणाओं और प्रक्रियाओं का हम परिचायक करना होगा। इसलिए हम स्थान और गमन-स्थिति की धारणाओं का उपयोग नहीं कर सकते—कम से कम त्रिना मापदण्डों के तादृश नहीं। हम इस विषय का

वियोजना पुनः वर्गीकृत आग यह पता लगाना चाहिए कि हमारे तरंग-फलन मन्त्रों का वे द्वारा वर्णनामा ने सम्बन्धित प्रथम घटना के विषय में कि प्रकाश की प्राग्विकता प्राप्त है। इस सम्बन्ध में मूल-व्यवस्थाओं को होता चाहिए जो यह आवश्यक पता पूर्य करें कि जब वही प्र-तरंग ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के नियम पालन करती है तभी उनमें प्राचीन यांत्रिकी की धारणा और परिणाम पुनः प्राप्त हो जायें। हम दावे हैं कि नवीन यांत्रिकी का निवचन प्रायिकता पर अवलम्बित है किन्तु इस प्राचिन-नवीन निवचन की विवाद विवचना हम परिणाम १० में करेंगे। इस समय तो हम इस प्रश्न के सम्बन्ध में स्पष्ट दृष्टि से केवल इतना ही बतायेंगे कि तर्क-यांत्रिकी के समीकरणों का उपयोग करने के लिए भौतिकता को किन माना जा सकता है मूल-व्यवस्था के रूप में स्वीकार कर लेना पड़ा था।

मन्त्र में पहली बात यह है कि हमारे पृष्ठ कथनानुसार प्र-फलन सिद्धांत भौतिक कम्पन को व्यक्त नहीं कर सकता क्योंकि वह सम्मिश्र फलन है। किन्तु हम इस बात का प्रयत्न कर सकते हैं कि हम प्र-फलन में हम कुछ ऐसे वास्तविक व्यक्त कर सकें जिनका कोई भौतिक अर्थ भी हो। जो व्यक्त स्वभावतः ही सबसे पहले हमारे ध्यान में आता है वह है सम्मिश्र राशि प्र-के मापांक का वर्ग; यह वर्ग तरंग फलन का उसकी मध्यम सम्मिश्र राशि से गुणा करने से प्राप्त होता है। इस राशि का प्र-तरंग के आयाम का वर्ग समानता हो सकता है। अर्थात् तरंग सिद्धान्त के साधारण अर्थ में इन तरंगों की तीव्रता समानता हो सकती है। इस महत्वपूर्ण राशि का क्या मतलब है यह बात समझने के लिए हमें प्रकाश के सिद्धान्त की तरंग लेनी पड़ेगी जिसमें पहले भी अनेक बार हमारा पक्ष प्रदान किया है और यह मालूम करना पड़ा कि प्रकाश का अस्तित्व स्वीकार करने पर प्रकाश-तरंग की तीव्रता का क्या अर्थ होता है। प्रकाश विज्ञान में निवचन और व्यतिकरण के चिरप्रतिष्ठित प्रयोगों में से किसी एक पर विचार कीजिए। प्रत्येक विदुष पर प्रकाश-तरंग की तीव्रता का परिकल्पना करने और यह मानकर कि प्रकाश-ऊर्जा का आकाशीय वितरण तरंग की तीव्रता का अनुपाती होता है, तरंग सिद्धान्त दीप्त और अदीप्त फिजा के स्थान निर्धारित कर देता है और हम जानते हैं कि यह कार्य बिल्कुल उचित यथार्थता से सम्पन्न होता है। व्यतिकरण के नियमों की यह परिकल्पना जिसकी यथार्थता प्रकाश के विविध प्रत्यान्वेषों अथवा विद्युत चुम्बकीय

मिद्वाना में जन्म यन्त्रिया न निज हा बरा ह तान्-यात्रिका में भी मय मयल्लना' मयदी या मयनी ह ।

अब हमें फाटान का ध्यान का निश्चित करिए। तब प्रकाश का विरामावली का हम फाटाना का प्रकाश समझ सकते हैं जो हम दृष्टि में व्यतिकरण अथवा विवर्तन का प्रकाश का प्रकाश बना है कि हमें व्यवहार उत्तरण के साथ फाटाना का जानापर विचार पर-ममान नहीं जना जो व जगत् में मित्रा न होकर दीप्त मित्रा में एकत्र हो जात है। जोर चुरि इन प्रकाश म तथा मिडान्त की प्रागुक्तिपा का जानन ब्यापकतापूर्वक हो जाता है इसलिए हमें यह मानना पता है कि उन मिडान्त द्वारा पवित्रित नग-नीत्रता प्रत्येक विलुप्त पर फाटाना के घनत्व की अनुपाती होता है। किन्तु परिच्छेद ५ गट ६ में हम पाले ही उन विविध प्रकाश की चका कर चुर हैं जिनमें यह प्रकट होता है कि प्रकाश को जपन क्षीण विष्णावली में भी व्यतिकरण उत्पन्न है। इन प्रकाश में यदि व्यतिकरण के उत्तरण में फाटान उत्तरात्तर पहुँच तब भी व्यतिकरण उत्पन्न हो जाता है। अब दीप-कालीन प्रदीपन के बाद भी सामान्य व्यतिकरण चित्रा की उत्पत्ति को व्याख्या करने के लिए यह मानना आवश्यक हो जाता है कि प्रत्येक फाटान को जानुपगिक तरा की तीव्रता उन स्थान पर फाटान के पहुँचने की प्रायिकता का निर्दिष्ट करनी है। इस प्रकार हमारा दृष्टिकोण सांख्यिकीय से उदरगत प्रायिकत्वीय हो जाता है जोर व्यतिकरण का नियम फाटान व आकाशाय अवस्थापन की प्रायिकता का नियम बन जाता है। किन्तु अब यदि हम द्रव्य के सिद्धान्त पर पुन विचार करें तो हमें मान्य हो जाता है कि यहाँ भी ठीक इसी तरह के नियम का स्वीकार करना पड़ेगा क्योंकि थिस्ट्र मे इल्कटाना का विवर्तन विलकुल उसी तरह हो जाता है जसा कि ऊर्ध्व ही तरंग-द्रव्य के फोडाना का होता है। अब यहाँ भी इल्कटाना की जानुपगिक तरा की तीव्रता ही उनके आकाशीय अवस्थापन की प्रायिकता का निर्दिष्ट करनी है। इस प्रकार हम निम्नलिखित नियम का प्रतिपादन कर सकते हैं।

७-पञ्चनक मापाक का वग प्रत्येक बिन्दु पर और प्रत्येक क्षण पर यह व्यक्त करता है कि उन बिन्दु और उन क्षण पर उन तरंग की आनुपङ्गिक कणिका के प्रेरण की प्राप्ति कितनी है। ऐसा नियम हमारी पूर्ववर्ती धारणाओं में कितना अधिक परिवर्तन कर देता है इस बात की ओर से हमें जागृ नहीं मूढ़ लनी चाहिए। सामान्यतः ७-तरंग जाकाग के किन्ही नियत क्षेत्र में ही व्याप्त रहती है अतः आनुपङ्गिक कणिका भी इसी

प्रदण में किसी भी स्थान पर पायी जा सकती है। किसी भी क्षण पर उस वण का कोई निश्चित स्थान निर्णीत नहीं हो सकता, किन्तु यह बताया जा सकता है कि अमुक स्थान पर उमकी उपस्थिति की प्रायिकता कितनी है। और मुनिर्णित स्थान के साथ-साथ वेग और गमन-पथ की धारणाएँ भी नष्ट हो जाती हैं—कम-से-कम अस्पष्टता हो जाती है। पुरानी यांत्रिकी की निश्चितता का स्थान सब्र ही प्रायिकता लेता है। इससे हमें घटनाओं के निरूपण की और प्रागुक्ति की बानिक् विधि में महत्वपूर्ण परिवर्तन हाने का आभास मिलता है और इस परिवर्तन में महत्वपूर्ण दार्शनिक परिणाम भी निहित है।

इन प्रश्नों के अध्ययन को आगे के लिए स्यगित करके अब हम उस दूसरे नियम का उल्लेख करेंगे जिसे तरंग-यांत्रिकी के भौतिक निवचन के लिए भौतिकज्ञों को स्वीकार करना पड़ा था। हमारा विश्वास है कि कणिकाओं की टक्करों की समस्याओं का उत्कृष्ट तरंग-यांत्रिकीय अध्ययन के प्रारम्भ में बोर्न ने ही इस दूसरे नियम का प्रतिपादन सबसे पहले किया था। इस नियम को “स्पक्द्रमीय विघटन नियम” नाम दिया जा सकता है। इस नवीन नियम का मम समझने के लिए बल-क्षेत्र के अभाव में गतिशील कणिका की सरल समस्या पर विचार कीजिए। यदि इस कणिका की आन्तरिक पणिक तरंग एक-वण समतल तरंग हो तो हमें विदित है कि कणिका की ऊर्जा का मान सुनिर्णीत होता है और वह तरंग की आवृत्ति और h के गुणनफल के बराबर होता है। किन्तु तरंग सिद्धांतीय दृष्टि से हम ψ -तरंग को एक-वण मानने के लिए बाध्य नहीं हैं। इस तरंग का अनेक एक-वण समतल तरंगों के अध्यारोपण द्वारा निर्मित तरंग सघन माना भी उतना ही युक्ति-संगत है। तरंग प्रचरण के रक्षिक समीकरणों के समुच्चय में भी इससे कोई बाधा उपस्थित नहीं होती। किन्तु तब आनुपणिक कणिका की ऊर्जा कितनी होगी? यह प्रश्न बड़ा विकट है क्योंकि इस ψ -तरंग में अनेक आवृत्तियों का समावेश है। इस कठिनाई को दूर करने के लिए बोर्न ने फिर प्रायिकता का सहारा लिया। उनके मतानुसार कणिका की ऊर्जा पूर्णतः निर्णीत नहीं होती।

तरंग की अनेक आवृत्तियों में से किसी भी एक आवृत्ति के अनुरूप उसकी ऊर्जा का मान हो सकता है। इसका अधिक यथायथा पूर्ण अर्थ यह है कि यदि उम कणिका की ऊर्जा का नापा जाय तो उसका मान इही माना में से किसी एक के बराबर निकलेगा, किन्तु हम पूछते यह नहीं कह सकते कि वह कौन-सा होगा। किन्तु बोर्न द्वारा प्रति

पादिन इस नवीन नियम के अनुसार हम पूर्वत ही यह अवश्य कह सकते हैं कि ऊँचा के विविध सभाव्य माना के प्रेक्षण की प्रायिकताएँ कितनी कितनी ह। गणिका की जानु पणिक तरंग अनेक एक-वर्ण समतल तरंगों के अध्यापण के द्वारा निर्मित ह ऐसा तहत का अर्थ यह है कि गणितीय दृष्टि से ψ -फलन वास्तव में अनेक एक-वर्ण तरंगों का निरूपण करनेवाले पदों का जोड़ होता है प्रत्येक पद के साथ एक एक गुणक लगा रहता है जिसे हम उस ψ -तरंग के स्पेक्ट्रमीय विघटन के उमी एक वर्ण मघटक का आगिक आयाम कह सकते हैं और इस आयाम के मापांक का वर्ग तत्समगत आगिक तीव्रता के बराबर होता है। अतः वात द्वारा प्रतिपादित नियम यह बताता है कि गणिका की ऊँचा के नापने से उस ψ -तरंग के किसी एक वर्ण मघटक के अनुक्रम मान प्राप्त करने की प्रायिकता उस तरंग के स्पेक्ट्रमीय विघटन में प्राप्त तत्समगत आगिक तीव्रता के बराबर होती है। यह नियम बिल्कुल बसा ही है जमा कि प्रकाश विज्ञान के अनुसार होना चाहिए।

यदि प्रकाश की कोई अमरल तरंग किसी प्रिज्म या ग्रेटिंग पर पड़े तो उस उपकरण में से निकलने पर उस तरंग के विभिन्न एक-वर्ण मघटक पथक हो जाते हैं। इसलिए स्पष्ट है हमें यह कहना चाहिए कि प्रारम्भ की अविविच्छिन्न रश्मि का फाटान अन्त में अमुक विघटित रश्मि में जायगा इस बात की प्रायिकता उस आपतित तरंग के तत्समगत स्पेक्ट्रमीय एक-वर्ण मघटक की तीव्रता की अनुपाती होती है। इसके अतिरिक्त हमें इस प्रश्न पर अधिक व्यापक दृष्टिकोण में विचार करना चाहिए। स्पेक्ट्रमीय विघटन के नियम का क्वाटमित परमाणु निकायों पर लगाने से हमें उस कठिनाई की कुजी मिल जाती है जिसकी चर्चा हम पहले कर चुके हैं। क्वाटमित परमाणु में क्वाटमित ऊँचाई वाली स्थावर अवस्थाओं के अनुरूपी आवृत्तियों की एक श्रेणी विद्यमान रहती है। किन्तु ऐम निकाय में कम्पनशील तार के ही समान यह समझा जा सकता है कि कोई भी विशिष्ट अवस्था अनेक स्थावर अवस्थाओं के अध्यापण के द्वारा उत्पन्न होती है क्योंकि अनेक उपयुक्त कम्पनों के जोड़ का ही ψ -फलन मानकर भी तरंग प्रचरण के समीकरण का हल प्राप्त किया जा सकता है। क्योंकि वह समीकरण रैखिक होता है। किन्तु इस ψ -फलन द्वारा निरूपित अवस्था में यह नहीं कहा जा सकता कि परमाणु अपनी निम्नी एत ही स्थावर अवस्था में है। किसी-न किसी प्रकार वह एत ही क्षण पर एक ही साथ अनेक स्थावर अवस्थाओं में विद्यमान है। स्पष्ट है कि चिर प्रतिष्ठित धारणाओं के अनुसार यह बात किसी तरह भी समझ में नहीं आ सकती। किन्तु स्पेक्ट्रमीय विघटन के नियम से यह कठिनाई अनपक्षित दृष्टि से दूर हो जाती है। अपनी ψ -तरंग

ने स्पष्टीय प्रकार में निरूपित ऊर्जा के अनेक क्वांटमित मानों में सपरमाणु की ऊर्जा का केवल एक ही मान सम्भव हो सकता है और इसकी प्राप्ति तत्काल स्पष्टीय समष्टि की तीव्रता की अनुपाती होगी। यहाँ भी इसका अर्थ यही है कि यदि किसी प्रयोग के द्वारा परमाणु की ऊर्जा का मान मापा जाय तो यह मान स्पष्टीय विघटन में उपस्थित ऊर्जा के मानों में से ही किसी एक के बराबर होगा। जिस सबब स्वान दिशा में भौतिक सिद्धान्त अब अग्रसर होने का है उसका एक और पूर्व-सूचक हमें इन निबन्धना के प्राप्तिवर्तीय लक्षण से मिल जाता है।

उपयुक्त ज्ञान नियमों की तुलना करने पर हमें यह अनिश्चितता के अनुबन्ध प्राप्त होते हैं जिनके साथ हाइड्रोजन का नाम मलग्न है। किन्तु इस महत्वपूर्ण प्रश्न के अध्ययन के लिए अधिक उपयुक्त स्थान यह परिच्छेद होगा जिसमें हम नवीन यांत्रिकी का प्राप्तिवर्तीय विवेचन करेंगे। अब यहाँ इस विषय में और अधिक लिखने की आवश्यकता नहीं है।

६. गैमो का सिद्धान्त^१

तरंग-यांत्रिकी का गैमो ने जो अत्यन्त मनोरञ्जक उपयोग किया है उसका अर्थ हम कुछ वर्णन करना चाहते हैं। इस उपयोग का जो अवेषणात्मक^२ महत्त्व स्वोन्मीयता^३ के क्षेत्र में है उसके अतिरिक्त इसकी रसिकता का कारण यह है कि इसके द्वारा यह प्रकट हो जाता है कि प्राचीन यांत्रिकी के स्थान में नवीन यांत्रिकी का सहारा लेने पर कई समस्याओं का रूप किम प्रकार बदल जाता है।

उदाहरण के लिए एक ऐसी कणिका को लीजिए जिस पर ऐसा बल क्षेत्र लग रहा है जो उसकी गति का रोकता है और मान लीजिए कि यह बल-क्षेत्र स्थापित है। यह सम्भव है कि किसी बिन्दु पर इस बल-क्षेत्र का मान शून्य हो जाय और वहाँ इसकी दिशा का परिवर्तन हो जाता हो। तब जिस विभव फलन से यह व्युत्पन्न हुआ हो वह पहले बढ़ता-बढ़ता महत्तम मान प्राप्त कर लेता है और तब घटने लगता है। इन बातों को आलम्बित भाषा में हम या कह सकते हैं कि उस स्थान पर एक विभव-वर्धन^४ विद्यमान है। जो कणिका इस पर्वत पर आरोहण करना प्रारम्भ करती है वह क्या चोटी पर चढ़कर दूसरी ओर पहुँचने में सफल हो जायगी? इस प्रश्न का विवरण पठित यांत्रिकी ने निम्नलिखित उत्तर दिया था। हा यदि उस कणिका में काफी

1 Uncertainty relation ~ The Theory of Gamow 3 Heuristic
4 Rapio activity 5 Static 6 Potential function 7 Mountain of potential

पर तरंग के लिए जो द्वारा धारा उत्पन्न है वह तरंग तरंग के लिए प्रदान करता है ताकि वह तरंग पथ को लोंच करता है। किन्तु यदि तरंगों में तापीय धारा उत्पन्न होकर उत्पन्न नहीं है तो यह उच्च तरंगों का उभा उठा नीचे उतरना क्योंकि तरंग पर प्रदान न होता हो जाता। समान करता है। अतः ही वह तरंग के लिए धारा के लिए पर रत जादगा तरंग जो म पुनः तापीय धारा के लिए तापीय।

किन्तु तरंग-यांत्रिका में वह प्रकाश बिन्दु द्वारा है तथा प्रकाश है। क्या ता हम कणिका की अनुपगित तरंगों का विवरण देता प्रकाश है। वह प्रमाणित किया जा सकता है कि जब वह विभव का मात्र तापीय तापीय ऊर्जा है कम है। तरंगों ता उच्च तरंगों के लिए विभव-शक्ति घटता माध्यम के प्रमाण होता है। यदि विभव-शक्ति की चाली में कणिका की ऊर्जा अधिक होता कणिका आगामी है द्वारा ता जा पड़ता। यहाँ तरंगों प्राचीन मिडाल स का उत्तर नहीं है। किन्तु यदि कणिका का ऊर्जा पवन की चाली में कम है ता पवन का वह प्रमाण नहीं है ता विभव कणिका की ऊर्जा है अधिक है। अनुपगित तरंगों के लिए उच्च अवस्था पर प्रकाश प्रकाश माध्यम का प्रमाण करता है। तरंग मिडाल के अनुसार जब कोई तरंग प्रकाश माध्यम पर आपतित होती है ता वह प्रमाण माध्यम में चाली द्वारा तरंग घूमता जाती है किन्तु अत्यन्त अत्यन्त रूप में। यदि अवस्था पर माध्यम की मात्रा काफी कम है ता उच्च तरंगों का कुछ जग—माधारणतः अत्यन्त जग—उच्च माध्यम का पार के द्वारा दूरी और पहुँच करता है। प्रमाण विज्ञान में यह तथ्य प्रमाणित है प्रमाण है। यदि तरंग-यांत्रिका में भी यही नियम लगाया जाय ता कि कणिका की ऊर्जा विभव-शक्ति की चाली पर पहुँचने के लिए आवश्यक ऊर्जा में बहुत कम है वह भी उच्च विभव-शक्ति का लोंच करता है यदि पवन काफी पतला है। अतः यथावतापूर्वक या कह सकते हैं कि विभव-शक्ति की चाली पर पहुँचने के लिए अपमान ऊर्जावाली कणिका के लिए भी उच्च पवन के पार पहुँच जाने की कुछ-कुछ प्रायिकता विद्यमान रहती है। यह प्रायिकता निम्न बहुत ही कम होता है किन्तु मिलतुल्य नही होता। यह घटना अनुपगित तरंगों के प्रायिक-वीर्य निवचन का तथा व्यतिरिक्त नियम का परिणाम है। अतः यह तरंग-यांत्रिका की ही विपत्ति है और बहुधा सुरंग प्रभाव के चित्रमय नाम के द्वारा इसका वर्णन किया जाता है।

अब मान लाजिए कि कोई कणिका ऐसे स्थान में अवस्थित है जो सभा गिराओं में इनने ऊँचे विभव-पर्वत से घिरा है कि वह ऊपर चढ़कर उन्हें लाप नही सकता। चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी के अनुसार ता वह कणिका सदा के लिए इस विभव-उपत्यका में बंदी रहेगी। किंतु इसके विपरीत तरंग-यांत्रिकी के अनुसार इस कणिका के लिए भी उपत्यका में से बाहर निकल जाने की कुछ अत्यन्त यादो-मी सम्भावना है। और एक मात्रक समय में इसके निकल भागने की जितनी प्रायिकता है उसका परिवर्तन नवीन यांत्रिकी के सूत्रों के द्वारा हो सकती है।

और अब हम उपयुक्त विचारधारा के उस उपयोग पर आते हैं जो गन्तव्य और लगभग उसी समय कांडा तथा गुरने^१ ने स्वोत्सर्ज्य पदार्थों के विघटन^२ की समस्या के सम्बन्ध में किया था। यह विदित है कि बहुत बड़ी संख्या ऐसे स्वोत्सर्ज्य तत्त्वों की है जो आलफा किरणों का उत्सर्जन करके अथवा तत्त्वों में परिणत हो जाते हैं। यह कल्पना ही सकती है कि ये α -किरणें इन तत्त्वोत्सर्जनशील^३ परमाणुओं के नाभिकों में पहले से ही विद्यमान रहती हैं और विभव-पर्वत से घिरी हुई उपत्यका में बंद रहती हैं। इन विभव-पर्वतों के बाह्य ढाल का रूप तो हमें मालूम है क्योंकि कूलम्ब का नियम नाभिक के भीमपर्वती प्रदेश में नाभिक के अत्यन्त निकट तक सत्यापित हो चुका है। किंतु इस बात की प्रायिकता अधिकतम है कि अंत में नाभिक के निकट किसी विपण दूरी पर पहुँचने पर कूलम्ब का नियम यथार्थतापूर्ण नहीं रहता। अतः महत्तम मान को प्राप्त करके विभव पुनः घटने लगेगा। किंतु विभव पर्वत के अंदर की तरफ के ढाल का रूप सवथा अज्ञात है। परंतु एक तथ्य ऐसा है जिसने भौतिकता का बहुत बलि कर दिया था। जो α -कणिकाएँ इन तत्त्वोत्सर्जनशील नाभिकों में से निकलती हैं उनका ऊर्जा इतनी कम होती है कि वह नाभिक के परिदृश्य विभव-पर्वत का पार करने के लिए पर्याप्त हो ही नहीं सकती। इस पर्वत के बाह्य ढाल का प्रेक्षण हम जितनी दूर तक कर सकते हैं वही वस्तुतः यह प्रकट करने के लिए काफी है कि पर्वत की चोटी कम-से-कम अमुक ऊँचाई से तो अधिक है ही। किंतु नाभिकों में से जो α -कणिकाएँ निकलती हैं उनमें इतनी ऊर्जा नहीं होती कि हम यह समझ सकें कि वे उस चोटी पर पहुँच सकी थीं। इस प्रकार चिरप्रतिष्ठित धारणाओं के अनुसार तो हमारे सामने दुष्प्रसंग बाधा उपस्थित हो जाती है। किंतु सुरंग प्रभाव के द्वारा सब बातें स्पष्ट हो जाती हैं। यह ठीक है कि तत्त्वोत्सर्जनशील पदार्थ के नाभिकों में α -कणिकाएँ ऐसी उपत्यका में

1 Potential valley 2 Condon and Gurney 3 Disintegration 4 Transmutable

अवस्थित है जो विभव-पवन म धिरी है और यह पवन ही गतिशील होती है। यह पवनिया यही नहीं है। यह गतिशील है। फिर भी यह मात्र मय म यह था का कुछ न-कुछ प्रायिकता होती है। यह वह उत उतवता है। मय-यंत्रित मय। स्पष्ट ही यह प्रायिकता उत स्वाभाविक पताय व विघटनार व बराबर होती है। गतिशील यदि हमें नाभिक का वही गतिशील विभव पवन व यह का गीत-गीत गाता है। यह तरंग-यांत्रिकी की विधि म हम स्वाभाविक पतायों व विघटनार का गणना α -वर्णितारा व द्वारा कर सकते हैं। विभव पवन व यह व सम्बन्ध म कुछ मयाभासी परिवर्तनाओं के द्वारा गमा न गिड कर दिया है कि गिडानेन हम परिणाम प्राप्त है। तब है जिनम याम्नायिता में वस्तु ही याता जनर होता है।

गमा के सिद्धान्त की एक प्रमुख समस्या यह है कि उमग शास्त्र-न्याय¹ नियम की व्याख्या हो जाती है। हम नियम व अनभार दोष जघाय² वा तत्त्वा की अपभा छोटी अधायुक्त तत्त्वा व गति α -विरणा वा उत्पन्न-यम अधिन होता है। गणितीय भाषा में यह नियम विघटनाव के तथा तत्त्वान्तरण में उन्मजित α -वर्णितारा की ऊजा के पारम्परिक मय-यंत्रित द्वारा व्यक्त किया जाता है और उमग यह प्रकट होता है कि α -वर्णितारा की ऊजा के किसी फलन के अनुसार विघटनार वही गीतता म परिवर्तित होता है। गमा ने प्रमाणित कर दिया है कि उनका सिद्धान्त हम नियम का कारण जयल मूमतापूर्वक बता देता है। इस मागत्य का कारण मय-यंत्रित जाना है। स्पष्ट है कि उपयुक्त में वही वणिवा की ऊजा पवत की चाटी पर पहुँचने के लिए आवश्यक ऊजा म जिनकी ही कम होगी उतनी ही उमके बाहर निरल मयन की प्रायिकता भी कम होगी। और यह प्रायिकता वही वणिवा की ऊजा के माय-माय वही गीतता में घटती है। चूंकि यह प्रायिकता विघटनार व बराबर होती है और मुरग प्रभाव के द्वारा बाहर निरलने के कारण वणिवा में उतनी ही ऊजा विद्यमान रहती है जितनी कि निरलने में पहले थी अतः विघटनाव में और तत्त्वान्तरण (ट्रान्स्म्यूटेन) में उन्मजित α -वर्णितारा की ऊजा में एक सम्बन्ध स्थापित किया जा सकता है। इस प्रकार निर्गमित नियम का रूप वही निरलता है जो प्रयाग द्वारा प्राप्त नियम का होता है। और नाभिकीय विभव पवत के डाल के सम्बन्ध में कुछ मयाभासी परिवर्तनाओं के द्वारा इन दोनों में सत्यात्मक एकता भी सम्भव हो जाती है।

गमो का सिद्धान्त नि सदेह बहुत ही अपूर्ण है क्योंकि भारी स्वासर्ती तत्वा का नाभिष अवश्य ही कुछ अधिक जटिल होना है और उसे केवल α -कणिका-युक्त विभक्त उपत्यका का सरल रूप नहीं दिया जा सकता। फिर भी बहुत से तथ्या के स्पष्टाकरण में गमो के सिद्धान्त का जा मफ-गना मिली है उससे तरंग-यानिकी की नवीन धारणाओं का महत्त्व भी प्रकट होता है और प्रयोगलब्ध तथ्या के द्वारा जा अनिवार्य कठिनाइयाँ उपस्थित होनी ह उनका दूर करने के लिए प्रायिकनामूलक विचारधारा की आवश्यकता भी स्पष्ट हो जाती है।

नवाँ परिच्छेद

हाइजनबर्ग की क्वाटम-यांत्रिकी

१ हाइजनबर्ग के पथ-प्रदर्शक विचार^१

हाइजनबर्ग का क्वाटम-यांत्रिकी सम्बन्धी प्रथम लेख १९२५ में प्रकाशित हुआ था अर्थात् तरंग-यांत्रिकी के मौलिक विचारों के और थोड़िंगर के लेखा के प्रकाशित होने के बीच के समय में। किन्तु इन वैज्ञानिकों के उद्देश्य से हाइजनबर्ग का उद्देश्य सप्रधान भिन्न था। वास्तव में जिन विचारों से तरंग-यांत्रिकी का सब प्रथम जन्म हुआ था उनमें और जिन विचारों ने हाइजनबर्ग का पथ प्रदर्शन किया था उनमें कोई भी प्रकट सम्बन्ध नहीं था और जिन वैधानिक पद्धति में क्वाटम-यांत्रिकी का निर्माण किया गया था वह भी बहुत ही विशेष प्रकार की थी। सबसे पहले हम हाइजनबर्ग के उन पथ प्रदर्शक विचारों का ही अध्ययन करेंगे।

जैसा कि हम पहले बता चुके हैं हाइजनबर्ग उस कोपनहेगेन संप्रदाय^२ के वैज्ञानिक थे जो बोह्र के नेतृत्व में स्थापित और परिवर्धित हुआ था और उनके प्रथम प्रयासों का उद्देश्य आनुस्यू विधि^३ का उपयोग ही था। इसलिए यह स्वाभाविक ही था कि इस विधि की अत्यन्त मौलिक और अत्यन्त गम्भीर भावना उनकी विचारधारा में 'याप्त' हो जाय। और आनुस्यू नियम के अध्ययन से जो सारभूत धारणाएँ उत्पन्न हुईं या उनमें से एक यह थी। चिरप्रतिष्ठित सिद्धांत तो क्वाटमिन निकाय में सम्बन्धित राशियाँ को पूरियर श्रेणी के रूप में व्यवहार करता है और इस श्रेणी का प्रत्येक पद विकिरण के मतलब^४ और योगपदिक^५ उत्सर्जन का स्रोत होना है किन्तु क्वाटम सिद्धांत उहाँ राशियाँ को ऐसे अवयवों में विघटित कर देता है जो उस परमाणु के लिए सम्भाव्य

1 The Guiding Ideas of Heisenberg 2 Copenhagen School 3 Method of correspondence 4 Correspondence principle 5 Continuous 6 Simultaneous

विभिन्न क्वांटम-सन्नमणा में सम्बंधित होना है और इनमें से प्रत्येक अवयव विकिरण के उत्पन्न की एक आतत^१ और एमारी^२ प्रक्रिया से सम्बंधित होता है। यह पट्टा बताया जा चुका है कि बाह्य के विद्युत् नियम का उद्देश्य इन दो असङ्ग निरूपणा में अनुपना-रम-जेन-म अनन्त-स्पर्शी^३ अनुपना-स्थापित करना था। एमारी जान पड़ता है कि जिन बातों में हाइड्रोजन का प्रभावित किया वह यह थी कि चिरप्रतिष्ठित दृष्टिकोण से दृष्टकर क्वांटम दृष्टिकोण पर पहुँचने के लिए यह आवश्यक है कि समस्त भौतिक राशियाँ का विपटित करने उन्हें क्वांटम परमाणु के विभिन्न सभाव्य सन्नमणा के अनुरूपी पृथक् पृथक् अवयवों का चूँन बना दिया जाय। इसी में किसी भी निकाय से सम्बंधित प्रत्येक भौतिक राशि का विशेष प्रकार की अव-सारणी^४ के द्वारा व्यक्त करने का विचार उत्पन्न हुआ जो प्रारम्भ में अत्यन्त क्षामकारी प्रणीत होता था। यह अव-सारणी उमा सारणी के समान थी जिसे गणितन मट्रिक्स कहते हैं। चिरप्रतिष्ठित निरूपण की फूरियर श्रेणी न जाने किस प्रकार चूँनित होकर अनन्त असलन अवयवों में विभक्त हो जाती है और इन अवयवों का समुदाय तब भी उस राशि का निरूपण करता रहता है। निश्चय ही यह आवश्यक है कि इन अवयवों पर कुछ ऐसे नियमों का नियंत्रण रहे जिनके कारण विभिन्न सन्नमणा के और चिर प्रतिष्ठित फूरियर श्रेणी के पदों के बीच में बौद्ध द्वारा निर्दिष्ट विधि से अनुपना स्थापित करके बड़ी क्वांटम मत्स्याओं के लिए हम अनन्त-स्पर्शी एमारी प्राप्त कर सकें।

राशियों का मैट्रिक्स-अवयवों के समुदाय द्वारा निरूपित करने का इस नवान विधि को स्वीकार करने में हाइड्रोजन को एक और भी लाभ दिखाई दिया। इस निरूपण में उन सब अपेक्ष्य राशियों से छुटकारा मिल जाता है जिनसे पूर्ववर्ती सभी क्वांटम सिद्धान्त जानांत थे। दशनशास्त्रीय भाषा के दुरुह शब्दों में हम यह कह सकते हैं कि उन्होंने शुद्ध प्रेक्ष्य घटनामूलक दृष्टिकोण का अपनाया और उन्हें यहाँ बाह्य भावों में भालूम हुआ कि भौतिक सिद्धान्त में वे वे सब बातें निकाल देना चाहिए जिनका प्रमाण संभव नहीं है। पारमाणविक सिद्धान्तों में परमाणु के आन्तरिक इल्लुट्रानों के स्थान, वेग और कक्षाओं का निश्चित करने से क्या लाभ, जब कि इन अवयवों का प्रमाण प्रत्यक्ष माप संभव ही नहीं है। परमाणु के सम्प्रदाय में जो कुछ हम जानते हैं वह केवल उनकी स्थावर अवस्थाएँ स्थावर अवस्थायुक्त सन्नमण, और इन सन्नमणा से सम्बंधित

विनिरण। जन हम अपन परिचरणा मे नी व ही अवयव सम्मिलित करन चाहिए जा इन प्रेक्ष्य वास्तविकताआ स सञ्द हा। हाइजनबर्ग दूनी कायक्रम का पूरा करना चाहत थ। उाकी मट्रिक्सा में थ अवयव पन्धिया और स्तम्भा^१ में नियम्न हान ह और प्रत्येक अवयव दा एम सक्तावा^२ द्वारा निदिष्ट हाना ह जिनमे पन्धिन तथा स्तम्भ की समिक मस्याए व्यक्त हानी ह। विनरणी अवयव^३ (अर्थात् व अवयव जिनमे सके ताक बगवर हान ह) स्वावर अवस्थाआ व घातर हान ह और अविनरणी अवयव जिनके सक्ताक बगवर नहीं हान इन सक्ताआ द्वारा निर्णीत स्वावर अवस्थाआ व बीच में हानेवाके सन्नमणा का व्यक्त करत ह। और इन अवयवों व मान जानुप्य नियम व सूत्रा व द्वारा उन रागिया स सम्पद्ध ह जा उन सन्नमणा में उन्मर्जित विनिरणा का परिलभित करती ह। इन प्रकार यह निरूपण एमा उन गया ह जिसमे सत्र कुछ प्रेक्ष्य घटनाआ पर ही आधारित रहना ह।

स्पष्टत यह विचारणीय ह कि क्या सचमुच ही हाइजनबर्ग समस्त अप्रेक्ष्य रागिया के निरमन^४ मे सफल हा गये। उाकी क्वांटम-यांत्रिकी की बधानिक प्रक्रियाआ मे पारमाणविक इलक्टाना के निर्देगाता और सक्ता का निरूपण करनेवाले मट्रिक्सा के अस्तित्व स ता हम विषय में कुछ सन्दह हा सकता ह। किन्तु यद्यपि हाइजनबर्ग के बढ-सन्पी प्रयास स भी उनका दाशनिक कायक्रम पूणत सफल नहीं हो सका, फिर भी उसमे एक अत्यन्त विचित्र प्रकार की नवीन यांत्रिकी का प्रादुभाव ता हा ही गया और अनेक आश्चर्यजनक परिणाम भी निकल जाये। नवीन क्वांटम सिद्धान्ता व विकास मे यह अवश्य ही एक आवश्यक कदम था।

२ क्वांटम-यांत्रिकी

गणितीय प्रक्रियाआ के उपयोग व त्रिना क्वांटम-यांत्रिका की रूप रत्ता का सरसरी सौर स भी प्रस्तुत करना अत्यन्त ही कठिन काम है क्याकि यह कहना अनुचित नहीं है कि हम नवीन यांत्रिकी का सार वास्तव में उसके प्रक्रिया-सत्र मे ही निविष्ट है। फिर भी हम स्थूल रूप स यह बतान का प्रयत्न करेगे कि यह क्वांटम-यांत्रिकी अथवा मट्रिक्स यांत्रिकी^५ क्या है जिसका हाइजनबर्ग ने जन्म दिया और जिसके विनास का श्रेय उनके साथ-साथ बान^६ और जारडन^७ का भी ह।

1 Rows 2 Columns 3 Indices 4 Diagonal elements 5 Non diagonal elements 6 Elimination 7 Quantum Mechanics 8 Matrix Mechanics 9 Born 10 Jordan

परमाणु सिद्धांत में साधारणतः प्रयुक्त भौतिक राशियाँ के स्थान में जहाँ-तहाँ दिया गया अथवा मैट्रिक्स का उपयोग करने के विचार में हाइज़ेनबर्ग ने इस यात्रिकी का प्रारम्भ किया था। प्रत्येक मैट्रिक्स का एक अविभक्त गणितीय सत्ता समझकर आनुस्यू विधि की महारता से पहले उन्होंने इन विभिन्न मैट्रिक्स को जोड़ने और गुणा करने के नियम स्थापित करने का प्रयत्न किया। तब उन्हें पता लगा कि ये गुण और गुणा के नियम बिल्कुल धर्म ही थे जहाँ कि उन मैट्रिक्स के हाते हैं जिनका व्यवहार गणितन योजीय समीकरणों के अथवा रसिक प्रतिस्थापन के सिद्धान्त में पहले से करते रहे थे। यद्यपि यह परिणाम स्वतः स्पष्ट नहीं है तथापि इससे समस्या बहुत कुछ सरल हो गयी क्योंकि योजीय मैट्रिक्स के गुण धर्म बहुत पहले से ही पता थे। इन मैट्रिक्स में एक विचित्र गुण यह है कि इनका गुणा व्यत्ययशील नहीं होता। गुणनफल गुणनवृद्ध के क्रम पर भी अवलम्बित होता है। प्रथम मैट्रिक्स को द्वितीय मैट्रिक्स से गुणा करने पर गुणनफल उतना नहीं होता जितना कि द्वितीय का प्रथम से गुणा करने पर प्राप्त होता है। अतएव हाइज़ेनबर्ग ने भौतिक राशियाँ का ऐसी सख्याओं के द्वारा व्यक्त किया जिनके गुणन में व्यत्ययशीलता का गुण नहीं होता। यही तथ्य क्वांटम-यात्रिकी का मूल आधार समझा जा सकता है और टिरेक की गवेषणा के प्रारम्भ में यही दृष्टिकोण अपनाया गया था। उन्होंने अपनी धारणा यह बताया कि चिर प्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान से क्वांटम भौतिक विज्ञान में संक्रमण अत्यंत सरलतापूर्वक हो सकता है यदि भौतिक राशियाँ को साधारण सख्याओं के स्थान में ऐसी क्वांटम सख्याओं के द्वारा निरूपित किया जाय जिनका गुणन व्यत्ययशील नहीं होता। उस समय अनेक भौतिकज्ञों को यह परिवर्तन सरल नहीं प्रतीत हुआ। हाइज़ेनबर्ग के लिए यह भी आवश्यक था कि वे किसी ऐसी युक्ति का आविष्कार करें जिससे उनके सिद्धान्त में क्रिया का क्वांटम निविष्ट हो जाय। इसके लिए भी उन्होंने उसी उपाय का अवलम्बन किया जिससे कि पुराने क्वांटम सिद्धांत के चिर प्रतिष्ठित समीकरणों में नियतांक h निविष्ट किया गया था। और उन्होंने आनुस्यू विधि की सहायता से h के इस निवेष्टन को अपनी नवीन यात्रिकी में सम्मिलित कर लिया। यह विधि अत्यंत सुनिश्चित थी, किंतु प्रारम्भ में बड़ी आश्चर्यजनक जान पड़ी। उन्हें यह परिकल्पना पतानी पड़ी कि किसी निर्देगाक से सम्बद्ध मैट्रिक्स को जब उसके सयुग्मों से वेग के सघट

से सम्बद्ध मेट्रिकम से गुणा किया जाता है ता इन गुणनखंडों का क्रम अद्वितीय नहीं होता और इन गुणनखंडों के एक क्रम से प्राप्त गुणनफल में और विपरीत क्रम से प्राप्त गुणनफल में जो अंतर होता है वह प्लांक के नियतांक h और किसी सभ्यात्मक नियतांक के गुणनफल के बराबर होता है। क्वांटम-यांत्रिकी के अन्य सब वैधानिक चर^१ व्यत्यय गाल होते हैं अतः उनके गुणनफल गुणनखंडों के क्रम पर अवलम्बित नहीं होते। केवल जब दो ऐसी राशियाँ के गुणनफल का विचार किया जाता है जो वैश्लेषिक यांत्रिकी के दृष्टिकोण से वैधानिकन सयुग्मित हैं तभी व्यत्ययशीलता की कमी प्रकट होती है और इस कमी का माप h के द्वारा होता है। स्कूल-स्तरीय घटनाओं में h उपक्षणीय होता है। अतः सब यांत्रिकीय राशियाँ व्यत्ययशील समझी जा सकती हैं और हम पुनः चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी पर लौट आते हैं। यही होना आवश्यक भी है। यद्यपि इस प्रकार व्यत्ययहीनतावाले समीकरणों के द्वारा प्लांक के नियतांक का निवेदन हाइजनबर्ग के दृष्टिकोण में स्वाभाविक ही है तथापि यह कुछ विचित्र-सा मालूम पड़ता है। आगे चलकर हम यह वनायेंगे कि तरंग-यांत्रिकी के द्वारा इस रहस्य का उद्घाटन कैसे होता है।

इस प्रकार भौतिक राशियों के निरूपण में प्रयुक्त मेट्रिकमा के गुणधर्मों में यथायथा स्थापित करने के बाद हाइजनबर्ग के लिए इन मेट्रिकमा के समयानुसारी परिवर्तन का व्यक्त करने वाले समीकरणों का निमाण करने की आवश्यकता हुई। अर्थात् वह जब अपने गति विज्ञान का निमाण करना था। इसके लिए उन्होंने साहसपूर्वक यह मान लिया कि ये मेट्रिकस जिन समीकरणों का पालन करते हैं उनका रूप भी ठीक चिर-प्रतिष्ठित यांत्रिकी के ही समीकरणों के समान होता है। इस परिवर्तन के अनुसार इन मेट्रिकमा के लिए भी हमिल्टन के वैधानिक समीकरण^२ लिखे जा सकते हैं। किन्तु गति-वैधानिक समीकरणों की यह एक रूपता बहुत कुछ आभासी ही है—वास्तविक नहीं। इसका कारण यह है कि चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी के समीकरणों में प्रयुक्त राशियाँ साधारण मर्यादों ही होती हैं, किन्तु हाइजनबर्ग की यांत्रिकी में वे मेट्रिकसएपी होती हैं। इस बात से दोनों में महत्वपूर्ण अंतर उत्पन्न हो जाता है। जो भी हो, यह प्रमाणित किया जा सकता है कि क्वांटम-यांत्रिकी के वैधानिक समीकरणों से ऊर्जा की अविवर्धिता का नियम पुनः प्राप्त हो जाता है और इन समीकरणों में आरंभ के आगति

1 Canonical variables = Canonically Conjugate 3 Canonical equations

गम्भीर नियम में भी गांठपट्ट है। हमने अनिश्चित गारमाणविक निश्चया के लिए ये समीकरण उठा के कुछ विनिष्ट माना के द्वारा ही मत्तुष्ट हा मत्तन ह। इस बात के कारण का विवेचन यहाँ नहीं किया जा सकता। इस प्रकार क्वांटमिन उद्गमन स्यावर अवस्था का अस्तित्व पुन प्रमाणित हा जाता ह और इन ऊर्जा का परिवर्तन की विधि भी हमें मालूम हा जानी है। अधिकत विरप्रतिष्ठित प्रकार के क्वांटमिन विवाया के लिए हम विधि का उपयोग करके हाइड्रोजन और अन्य पिप्पा न रवि दालक', हाइड्रोजन परमाणु आदि की क्वांटमिन ऊर्जा का परिवर्तन किया। जो परिणाम निकले थे अधिकतर तो पुराने क्वांटम सिद्धान्त से सुगम हो थ, किन्तु कुछ बातों में मयथा भिन्न भी निकले। यथा, रवि दालक के लिए प्लांक के सूत्र का क्वांटम नियम के स्थान में उन्हें अध-क्वांटम नियम प्राप्त हुआ। यह पहले बताया जा चुका है कि यही नियम वास्तविक तथ्य से अधिक सगत है।

क्वांटम-यात्रिकी के इन अत्यन्त रितावपक परिणामों में और उसके बधानिक प्रक्रिया-तन्त्र की परिच्छिन्नता और दृढ़ नियमितता में उत्साहित होकर अनेक सैद्धान्तिकों ने हाइड्रोजन के ही माग का अनुसरण किया और बहुत-सी नवीन और महत्वपूर्ण बातों से उम्मीद सहायता की। इसी समय थॉडिगर ने भी अपने लज प्रकाशित किया और उन्हें यह देखकर आश्चर्य हुआ कि तरंग-यात्रिकी की क्वांटमीकरण विधि से भी वही परिणाम प्राप्त हुए थे जो सवथा भिन्न धारणाओं पर आश्रित क्वांटम-यात्रिका में प्राप्त होते ह। उनके अंतर्धान ने कहा कि यह बात दबयाग से नहीं हो सकती और एक उत्कृष्ट लेख में उन्होंने इस रहस्य के स्पष्टीकरण में सफलता भी प्राप्त कर ली। अब हम उसी लेख का विश्लेषण करेंगे।

३ क्वांटम-यात्रिकी तथा तरंग यात्रिकी की एकात्मकता

इस काम में जिस धारणा ने थॉडिगर को प्रेरित किया वह यह थी कि तरंग यात्रिकी के तरंग फलन के ही द्वारा ऐसी राशियाँ का निमाण संभव हो जाना चाहिये जिनमें क्वांटम-यात्रिकी के मैट्रिक्स के गुण विद्यमान ह। ऐसा हा जाने पर क्वांटम यात्रिकी उन राशियों के परिवर्तन का तथा उन पर शक्तिशाली प्रक्रियाएँ करने का एक सविधान मान हा जायगी और तब तरंग फलन को स्पष्टतः मध्यवर्ती बनाने की कोई

आवश्यकता नहीं रहेगी। और इस प्रकार तीन यांत्रिकी के दाना स्था की एकात्मकता प्रमाणित हो जायगी।

तरंग-यांत्रिकी में जब किसी क्वांटमीकरण की समस्या उपस्थित होती है तब पहला विचाराधीन निराय की विभिन्न अग्रगामी तरंग निर्णय की जाती है और तब उनके आनुपयिक तरंग फन्ना का परिवर्तन किया जाता है। यह फन्ना उस निराय के 'इष्ट फन्ना' कहलाता है। इन इष्ट फन्ना का एक अनुक्रम होता है जिसे हम यहाँ असतत ही मान लें क्योंकि अनन्त महत्वपूर्ण दशांशों में वह वास्तव में ऐसा ही होता है। अब इन फन्ना में सदा-दा के लिये बनाया हुआ समस्त युग्मापर विचार कीजिए। यह युग्म दो प्रकार के बनेंगे। एक प्रकार के युग्म तो वे होंगे जो किसी इष्ट फन्ना का उसी इष्ट फन्ना में युग्मित करने में प्राप्त होता है और दूसरे प्रकार के युग्म वे होंगे जो किसी एक इष्ट फन्ना का किसी अन्य इष्ट फन्ना में युग्मित करने से प्राप्त होता है। पहले प्रकार के युग्म तो बस एक ही स्थावर अवस्था से सलग्न¹ होगा। किन्तु दूसरे प्रकार के युग्म दो विभिन्न स्थावर अवस्थाओं से सलग्न होगा। अतः उसे हम उन दो स्थावर अवस्थाओं के पारस्परिक सन्तर्पण से सलग्न समझ सकते हैं। इस प्रकार दो-दो इष्ट फन्ना के युग्मन में हमें ऐसे अवयवों का एक अनुक्रम प्राप्त हो जायगा और इन अवयवों में से एक-एक अवयव का हाइजनबर्ग मट्रिक्स के एक-एक अवयव से जानकर स्थापित किया जा सकता है। किन्तु हाइजनबर्ग के मतानुसार प्रत्येक राशि का व्यक्त करनेवाले मट्रिक्स भिन्न-भिन्न होते हैं। अतः यह आवश्यक है कि प्रत्येक राशि के लिए इष्ट फन्ना का युग्मन भी भिन्न-भिन्न तरह से किया जाय।

यही एक सारगर्भित विचार उत्पन्न होता है जिसका महत्त्व अगले परिच्छेद में और भी अच्छी तरह प्रकट होगा। वह सारगर्भित विचार यह है कि प्रत्येक भौतिक राशि के लिए एक प्रतियोगिता-मवेत (कारक) नियत करना आवश्यक है। हम पहले ही देख चुके हैं कि किसी कणिका की आनुपयिक तरंग के प्रचरण-समीकरण या किसी स्वतः प्रेरित प्रतियोगिता द्वारा निर्माण करने के लिए थोडिंगर का इस उपाय का आश्रय लेना पड़ा था कि भवेक के सघटका के स्थान में ऐसे कारक को प्रतिस्थापित कर दिया जो समुष्मी निर्देशांक-सापेक्ष व्युत्पन्ना के अनुपाती होंगे और जिनके अनुपात गुणांक में नियतांक h निविष्ट रहता है। यह मान लेना भी स्वाभाविक है कि प्रत्येक

1 Proper functions 2 Sequence 3 Attached 4 Symbol of operation 5 Operator

निर्देशांक के साथ "उस निर्देशांक स गुणन" की प्रक्रिया भी लगाई गई है। चूँकि किसी भी वणिक्ता से सम्बन्धित समस्त यात्रिक राशियाँ उसने निर्देशांक तथा उसके सबगुणक सघट्टा (लाग्राज के सयुग्मी सवगा) के द्वारा व्यक्त हो सकती हैं इसलिए उपयुक्त दाता नियमा की सहायता से उस वणिक्ता से सम्बद्ध किसी भी यात्रिक राशि का आनुपगिक वारक हम मालूम कर सकते हैं। यदि ऊर्जा का आनुपगिक वारक इस प्रकार निर्णीत किया जाय तो हमें वही हैमिल्टनीय वारक प्राप्त हो जाता है जिसकी सहायता से तराया प्रचरण-समीकरण स्थापित किया जाता था। इस अनुत्पत्ति का व्यापक रूप देने पर हम इस परिणाम पर पहुँच जाते हैं कि समस्त भौतिक शक्तियाँ का एक-एक आनुपगिक वारक होता है और यही नियम नवीन यात्रिकी का एक मूल आधार बन गया है।

अब हम यह समय सकते हैं कि थॉडिगर ने वे मेट्रिक्स कैसे बनाये जिनका क्वाटम यात्रिकी के मैट्रिक्स से तादात्म्य स्थापित करना उन्हें अभीष्ट था। मान लीजिए कि वणिक्ता सम्बन्धी कोई राशि है और उसके आनुपगिक वागक के निर्माण की विधि हमें मालूम है। तब विचाराधीन निक्काय के इष्ट फलन के प्रत्येक गुणक के साथ हम एक ऐसी राशि का अनुवद्ध कर सकते हैं जो निम्न प्रकार निर्मित होती है। उस गुणक के एक फलन पर उस वारक की क्रिया का जो फल होता है उसे दूसरे फलन के सम्मिश्र सयुग्मी मान से गुणा किया जाता है और तब उसका संपूर्ण आकाश-व्यापक अनुकलन किया जाता है। यही क्रिया समस्त इष्ट फलन-गुमा पर की जाती है जिससे हमें अवयवों का ऐसा व्यूह प्राप्त हो जाता है जिसमें कुछ अवयवों का एक ही एक-स्थायी अवस्था से सलग्न होत है और कुछ अवयव दा-दा स्थायी अवस्थाओं से अलग-एक-एक सन्मग्न से सलग्न होते हैं। इन अवयवों से एक मैट्रिक्स बना लिया जाता है जिसमें पहले प्रकार के अवयव विकर्ण पर लिखे जाते हैं (विकर्णी अवयव)। इस प्रकार प्रत्येक यात्रिक राशि से एक एक मैट्रिक्स प्राप्त हो जाता है और अब प्रश्न यह रह जाता है कि क्या इस तरंग-यात्रिकी द्वारा प्राप्त मैट्रिक्स का क्वाटम-यात्रिकी के मैट्रिक्स से तादात्म्य स्थापित किया जा सकता है।

इस प्रश्न का उत्तर स्वीकृति सूचक है। सबसे पहले तो थॉडिगर ने यह प्रमाणित किया कि हाइड्रनबर्ग के मैट्रिक्स की ही तरह उपर्युक्त विधि से प्राप्त मैट्रिक्स भी जाँच और गुणन के उही नियमों का पालन करते हैं जिनका बीजीय मैट्रिक्स करते हैं। इसके अतिरिक्त जो प्लान्क का निश्चित क्वाटम-यात्रिकी से एक विचित्र रीति

४ नवीन यांत्रिकी में आनुरूप्य-नियम

नवीन यांत्रिकी के द्वारा आनुरूप्य नियम को अब अधिक परिच्छिन्न रूप प्राप्त हो गया है और पुराने क्वाटम सिद्धान्त में उसके विरुद्ध जा आलाचनाएँ हो सकती थी उनके लिए अब उतना अवसर नहीं है। हम देख चुके हैं कि किस प्रकार बाह्य न किसी क्वाटम-सन्नमन की प्रारम्भिक और अंतिम अवस्थाओं के चिर प्रतिष्ठित बिन्दु में प्रयुक्त वैद्युत ध्रुव के फरियर-श्रेणीय प्रसार का उपयोग करके उस सन्नमन जनित विकिरण की तीव्रता तथा उसके ध्रुवण की प्रागुक्ति करने का प्रयत्न किया था। क्या क्वाटम-सन्नमन के क्षेत्र में तो यह विधि सतोपजनक और सशयहीन प्रमाणित हुई। किन्तु मध्यम अथवा छोटी क्वाटम सन्नमनों का जो क्षेत्र वास्तव में महत्वपूर्ण है उसमें अनेक कठिनाइयाँ और द्विविधाएँ उपस्थित हो गयीं। इसके विपरीत नवीन यांत्रिकी में आनुरूप्य नियम के उपयोग की विधि तुरन्त ही पूर्णतः सुनिश्चित हो गयी। वास्तव में वैद्युत ध्रुव के प्रत्येक सघटक के लिए एक आनुपगिक मॉड्युल होता है और प्रत्येक सन्नमन में इस मॉड्युल के केवल एक ही अवयव का सम्बन्ध होता है। किसी सन्नमन से सम्बद्ध मॉड्युल के अवयव को यदि उस सन्नमन के लिए बहुत ध्रुव के सघटक का आयाम मान लिया जाय तो चिरप्रतिष्ठित सूत्र के ही आनुरूपी सूत्र के द्वारा उस सन्नमन जनित विकिरण की पूर्णतः परिच्छिन्न और असंदिग्ध प्रागुक्ति हो सकती है। यह मत्त है कि इस विधि में भी थोड़ा-सा परिकल्पित अंश बाकी रह गया है और वह है तीव्रता के परिकलन में चिर प्रतिष्ठित रूपवाले सूत्र के उपयोग की संभावना। किन्तु यही तो अनुरूपता की विधि का मूल आधार है। यदि इस परिकल्पना को स्वीकार कर लिया जाय तो फिर अनुरूपता के नियम के अनुप्रयोग में कुछ भी अनिश्चितता या यद्दच्छता नहीं रह जाती।

हाइजेनबर्ग ने अपने मॉड्युल-यांत्रिकी के अध्ययन के द्वारा ही आनुरूप्य नियम का ऐसा परिष्कृत रूप दिया था और श्रोडिंजर ने उसी का रूपान्तरण तरंग-यांत्रिकी की भाषा में कर दिया। इस सुप्रसिद्ध भौतिकज्ञ ने तो विकिरण के परिकलन में मॉड्युल के अवयवों के बाय के स्पष्टीकरण के लिए एक भूत चित्र भी प्रस्तुत कर दिया है। अब परमाणु में इलेक्ट्रॉन को प्रत्येक क्षण पर किसी एक बिन्दु पर अवस्थित नहीं समझना चाहिए। किसी विशेष बिन्दु पर उसके विद्यमान हान की कुछ प्राधिकता अवश्य होती है और व्यक्तिकरण नियम के अनुसार यह प्राधिकता तरंग-फलन के मापांक^१ के वर्ग का

अनुपाती हानी है। इसके कारण इलेक्ट्रान का हम परमाणु में एक प्रकार से पैंग हुआ समझ सकते हैं और औसत रूप से उसके विद्युत आवेश का मततत वितरित समझ सकते हैं। थार्डिगर के मतानुसार आनुस्य नियम का अनुप्रयोग (ऐप्लिकेशन) हम यह मानकर कर सकते हैं कि घटना इस प्रकार घटित होती है माना विद्युत का यह समय-सापक्ष परिवर्तनशील औसत वितरण चिर प्रतिष्ठित नियमों के ही अनुसार विकिरण का उत्सर्जन करता है। स्थूल दृष्टि से तो यह चित्रण बहुत मतापजनक मालूम पड़ता है क्योंकि इसके द्वारा बाह्य के आवृत्ति नियम की पुनरुक्ति हो जाती है, किंतु यदि सूक्ष्म दृष्टि से इसकी परीक्षा की जाय तो मालूम पड़ेगा कि इसके द्वारा भीषण कठिनाइयाँ भी उत्पन्न हो जाती हैं। अतः इसका परित्याग अनिवार्य है। वास्तव में क्वाटम सन्नमन जनित उत्सर्जन की क्रिया मूलतः इतनी अमृतत है कि विद्युत के किसी भी प्रकार के वितरण के द्वारा—यहां तक कि सवथा कल्पित वितरण के द्वारा भी—चिर प्रतिष्ठित नियमानुवर्ती उत्सर्जन के रूप में उसका यथाथता पूरा चित्रण हो ही नहीं सकता। आनुस्य नियम सम्बंधी जा विचार हम ऊपर प्रकट कर चुके हैं उनके अनुसार मेट्रिक्स के अवयवों का मही जय समपने के लिए हमें यह कहना पड़ेगा कि मेट्रिक्स के अवयवों का काम यह है कि इनके द्वारा हम किसी एक स्थावर अवस्था का कोई विशेष क्वाटम सन्नमन के एक मात्रक समय में सम्पन्न होने की प्रायिकता का परिवर्तन कर सकते हैं।

नवीन यात्रिकी के आनुस्य नियम के द्वारा हमें स्पष्टमीय रेखाओं की तीव्रताएँ और उनके ध्रुवणा का परिवर्तन करने की और विनोष कर वरण नियमों का निगमन की क्षमता प्राप्त हो गयी है। इसके द्वारा द्रव्य और विकिरण की पारस्परिक क्रिया सम्बंधी अनेक समस्याओं का अध्ययन भी संभव हो गया है। यथा प्रकाश के परिक्षेपण तथा वण विक्षेपण की समस्याएँ। जा थामस हाइड्रोजनबग^१ का सूत्र पहले आनुस्य के विवेचन के द्वारा सन्निकटन के रूप में प्राप्त हुआ था उस जब हम यथातथ रूप में प्राप्त कर सके हैं।

द्रव्य और विकिरण की पारस्परिक क्रिया के अध्ययन में आनुस्य विधि के उपयोग से बड़े सतापजनक परिणाम निकले हैं और यह निश्चित है कि उसमें सत्य का जग बहुत बड़ी मात्रा में निविष्ट है। फिर भी यह संभव नहीं है कि इस धान की आर ध्यान न दिलाया जाय कि विद्युत चुम्बकीय सूत्रों के समुचित रूपान्तरों के नियमित

उपयोग के कारण यह विभिन्न प्रवाश की कणिका-मय संरचना की सदैव उपेक्षा हो करती है। वास्तव में प्रवाश के परिक्षेपण (विकीर्णन) की समस्या का परमाणु और कणों की टक्कर के रूप में ही समाधान चाहिए और इस टक्कर का अध्ययन तरंगयांत्रिका विधि से ही होना चाहिए। इस दृष्टिकोण से इस समस्या के स्पष्टीकरण में सफलता प्राप्त करने के लिए विद्युत चुम्बकीय तरंग में फोटॉन का निरूपण तथा (अधिक व्यापक रूप में) विद्युत्-चुम्बकीय क्षेत्र का क्वांटमीकरण आवश्यक है। इस दिशा में जा प्रयत्न किये गये हैं उनका वर्णन हमें आगे फिर करना पड़ेगा।

दमवां परिच्छेद

नवीन यात्रिकी का प्रायिकता-मूलक निर्वचन^१

१ सामान्य धारणाएँ और मूठ मिढान^१

हम दब चुके हैं कि प्रायिकता-मूत्र विचारधारा ने तरंग-यात्रिकी के भीतिप राज्य को समझने के प्राग्भिन्न प्रयत्न में बड़ा काम किया था। उस समय ऐसा माना जाता था कि अब हम व्यापक मिढान का आविष्कार हो रहा है जो नवीन यात्रिकी को समस्त प्रागुक्तिया में प्रायिकता के लक्षण आरोपित कर देगा। इस मिढान्त ने जिनका दृष्टिबाण बिल्कुल नया है और जिनने अनेक चिर प्रतिष्ठित धारणाओं का मूलाच्छेदन कर दिया है धीरे-धीरे भीतिपका को अपनी ओर ध्यान देने के लिए विवश कर दिया। आज तो हम यह मरत हैं कि अब इसे सभी लागू करने के लिए विवश कर दिया है—ऐसे लागू करने भी जा इसे अग्यायी तथा अन्त कालीन मानत है और जिन्होंने अभी तक यह आगा नहीं छाटी है कि कभी-न-कभी पुन चिर प्रतिष्ठित धारणाओं पर हम लौट सकेंगे। इस परिच्छेद में इसी विषय का विवेचन किया जायगा।

इस विवचन का प्रारम्भ हम इस साधारण दिखाई देनेवाली धारणा से करण कि किसी नानिक राशि का बिल्कुल ठीक मान जानने के लिए उसको नापना आवश्यक है और उस नापने के लिए ऐसे उपकरण की आवश्यकता है जो किसी-न किसी प्रकार उस राशि के मान को किसी निर्दिष्ट यथायता में नाप सके। चिर प्रतिष्ठित भीतिक विज्ञान में यह बात स्वयं माय समझी जाती थी कि समुचित पूवावधाना^१ के द्वारा यह मदव संभव है कि नापने की त्रिया इस प्रकार गण्य है कि नापने से पूर्ववर्ती अवस्था में कोई प्रेक्षणगम्य विचार पता न हो। मगी

दशा में नाप केवल वर्तमान अवस्था का ज्ञान प्राप्त करने का ही काम करेगा। नाप के कारण उस अवस्था में किसी नवीनता का समावेश नहीं होगा। यह निश्चय चिर प्रविष्टि। भौतिक विज्ञान में निर्विवादतः मान लिया गया था और स्थूल स्तरीय क्षेत्र में यह विलकुल सत्य भी है। इस क्षेत्र में कुल प्रयोगकर्ता प्रमाण गम्य विचार उत्पन्न करने के बिना ही घटनाओं का पारिमाणिक अध्ययन संभव कर सकता है। इसका कारण यह है कि नापने की क्रिया से जो विकार उत्पन्न होते हैं उन्हें इतना घटाया जा सकता है कि माध्य राशियाँ की अपेक्षा उन विकारों का उपक्षणीय समझ सकते हैं। इसके विपरीत सूक्ष्म स्तरीय क्षेत्र में क्रिया के क्वाण्टम के अस्तित्व का यह परिणाम होना है कि नापने की क्रिया से उत्पन्न विकार अनन्ततः नहीं घटाये जा सकते। अतः जिस घटना का अध्ययन किया जाता है वह नापने की प्रत्येक क्रिया से वस्तुतः विकृत हो जाती है। इन विचारों का सूक्ष्म विवेचन हम आगे कर वाद करेंगे जब हम उन उदाहरणों का अध्ययन करेंगे जो अनिश्चितता के अनुबन्धा के समर्थन में मुख्यतः बोह्र और हाइजेनबर्ग के द्वारा प्रस्तुत किए गए हैं। इस समय इतना ही कह देना पर्याप्त होगा कि यह बात किसी भी तरह प्रत्यक्षतः मान्य नहीं है कि नापने की क्रिया से हमें पूर्ववर्ती अवस्था का शुद्ध और निर्विकार ज्ञान प्राप्त हो सकता है। अधिकतर तो ऐसी ही मभावना है कि नापने की क्रिया पूर्ववर्ती अवस्था में निहित किसी सभाव्यता का प्रकट करके एक नवीन अवस्था का निर्माण कर देती है। और अब हम सूक्ष्मतापूर्वक यह बताने का प्रयत्न करेंगे कि इन नवीन दृष्टिकोणों के अनुसार नापने की क्रिया वास्तव में क्या करती है।

इस उद्देश्य की पूर्ति के लिए भौतिक प्रकाश विज्ञान सम्बन्धी कुछ पुराने प्रयोगों के विषय में जोश विचार कर लेना लाभकारी होगा और यहाँ भी यदि हम कोशिका और प्रकाश-तरंगों के द्वैत में प्रारम्भ कर तो रहस्य का उद्घाटन कर सकने की सभावना अधिक है। इसलिए प्रिन्स या ग्रेटिंग द्वारा किसी मिश्र प्रकाश तरंग के स्पेक्ट्रमीय विक्षेपण के अत्यन्त साधारण प्रयोग पर ही विचार करेंगे। न्यूटन के समय से ही हमें पता है कि इसमें जिस उपकरण का व्यवहार किया जाता है उसका काम है आपतित प्रकाश के विभिन्न एक-वर्ण सघटकों का पृथक्-करण। १७वाँ शताब्दी में इस समस्या पर बहुत विवाद हुआ था कि क्या प्रिन्स द्वारा उपकरण एक-वर्ण सघटक आपतित प्रकाश में पहले से ही विद्यमान रहते हैं या उनका प्रिन्स

के प्रभाव से नया निमाण हाता है। इस प्रश्न का कोई भी बहुत सतोपजनन उत्तर प्राप्त नहीं हो सका था, किन्तु अन्त में अविन विवक्षित यही माना गया कि आपतित प्रकाश में समस्त एक वर्ण सघटक जाभासी रूप से प्रच्छन्न अवस्था में किमी-न किमी प्रकार विद्यमान रहने ह। हम गीघ्र ही दखें कि इस मत का समर्थन उन क्वाटम मूलक विश्लेषणा के द्वारा हो जाता है जिनका वर्णन हम आगे करेंगे। वास्तव में हम प्रिज्मघटित वर्ण विश्लेषण की व्याख्या में फोटाना की धारणा निविष्ट करन का प्रयत्न करेंगे। इस दृष्टिकोण से हम या कहेंगे कि प्रिज्म की क्रिया के कारण आपतित फोटान पथक-पथक सुनिर्णीत वर्ण-समुदाया में विभाजित हो जात ह। अथवा प्रिज्म आपतित रश्मि में से लाल, पील और नील फोटाना को छांटकर अलग-अलग कर देता है। हम यह भी कल्पना कर सकते ह कि इस प्रयोग में आपतित प्रकाश रश्मि इतनी दुबल है कि प्रिज्म पर एक-एक फोटान उत्तरोत्तर पहुँचता है। किन्तु प्रत्येक फोटान का सम्बन्ध उस आपतित प्रकाश-तरंग से है जो हमारी परिकल्पना के अनुसार एक वर्ण नहीं ह। अतः आपतित फोटान की कोई सुनिर्णीत आवृत्ति नहीं मानी जा सकती। और आइन्स्टाइनीय समीकरण द्वारा सुनिर्णीत ऊर्जा भी उसमें नहीं हो सकती। किसी-न किसी प्रकार उस आपतित फोटान में के सब सम्भव आवृत्तियाँ घुगपत विद्यमान ह जो उसकी आनुपणिक प्रकाश-तरंग के स्पेक्ट्रमीय विश्लेषण में प्रकट हो जाती हैं। किन्तु प्रिज्म में से बाहर निकलने पर वही आपतित फोटान प्रिज्म द्वारा विक्षेपित विभिन्न एक-वर्ण रश्मियाँ में से किसी एक में अवश्य ही विद्यमान होना चाहिए। अतः जब उसकी आवृत्ति अवश्य ही सुनिर्णीत होगी। इसलिए हम प्रिज्म का ऐसा यंत्र समझ सकते ह जिसके द्वारा फोटान की आवृत्ति (या ऊर्जा) नापी जा सकती है। इस उपकरण का काम इतना ही ह कि पूर्ववर्ती अवस्था में जितनी सम्भावनाएँ निहित हैं उनमें से यह किसी एक को छांटकर निकाल देता ह। अतः हमें तो इस बात की जानने का प्रयत्न करना चाहिए कि प्रिज्म की क्रिया फोटान को किसी एक निश्चित रंग का ग्रहण करने के लिए विवश कर देगी इसकी प्राथिकता कितनी है। तरंग सिद्धांत के द्वारा इस प्रश्न का पारिमाणिक उत्तर तुरन्त ही मिल गया। आपतित तरंग का निरूपण एक परियार प्रसार के द्वारा किया जा सकता ह जिसमें प्रत्येक एक-वर्ण सघटक का एक सुनिश्चित आयाम होगा। प्रिज्म की क्रिया इन एक-वर्ण सघटकों का पथकता कर देगी, किन्तु उनके आयाम ज्या के तया बने रहेंगे तथा प्रिज्म में से निगत होने पर विभिन्न निगत रश्मियाँ में आपतित प्रकाश ऊर्जा का वितरण इन आयामों के वर्गों के अनुपात में

अर्थात् विभिन्न फूरियर सघटका की तीव्रता के अनुपात में होगा। जतएव हमें यह कहना चाहिए कि प्रिन्स में से निगत होने पर फोटान की कोई निश्चित आवृत्ति होने की प्रायिकता आपतित प्रकाश-तरंग के फूरियर प्रसार में उसी आवृत्ति का आशिक तरंग की तीव्रता की अनुपाती होगी।

उपर्युक्त विचारधारा का यदि तरंग-यांत्रिकी की भाषा में स्पातरण कर दिया जाय और यदि उसे अधिक ध्यापन बना दिया जाय तो हम उस व्यापक प्रायिकता सिद्धान्त के उद्गम को भी समझ सकेंगे जिसके विकास का वर्णन अब हम करेंगे।

हम ऊपर किसी अनुच्छेद में देख चुके हैं कि नवीन यांत्रिकी में प्रत्येक यांत्रिक राशि के आनुपगिक एव-एव कारक का निर्माण किया जाता है और यह कारक सभी दशाओं में वन सप्रता है। ये सब कारक रैखिक हर्मिटीय¹ कारक की जाति के होते हैं। इष्ट-माना के जिस गणितीय सिद्धान्त का उल्लेख पहले किया जा चुका है उसके द्वारा इष्ट-माना और इष्ट फलना की तथा इन कारक की आनुपगिकता स्थापित की जा सकती है। और कारक के हर्मिटीय होने के कारण इष्ट मान वास्तविक नियताक² होते हैं जिनसे सतत, असतत अथवा मिश्र अनुक्रम बन जाता है और इन्हीं से उस कारक के "स्पेक्ट्रम" की सृष्टि होती है। इन इष्ट फलना के द्वारा लम्ब-कोणिक फलना³ का एक पूरा सघ बन जाता है अर्थात् किसी भी सतत फलन का प्रसार इन इष्ट-फलनों की श्रेणी के रूप में किया जा सकता है। थोडिंगर की क्वाटमीकरण विधि में हैमिल्टनीय कारक के इष्ट-माना और इष्ट फलना के सम्बन्ध में पहले भी इष्ट मानों और इष्ट-फलना के इन गुणा का परिचय हमें मिल चुका है। जैसा हम देख चुके हैं इस विधि में यह मान लिया जाता है कि किसी भी क्वाटमित निबन्ध की ऊर्जा के सम्भव मान केवल उसकी ऊर्जा के आनुपगिक हैमिल्टनीय कारक के इष्ट मान ही हो सकते हैं। इसी धारणा का व्यापकीकरण करके से तरंग-यांत्रिकी के व्यापक प्रायिकता सिद्धान्त में से यह मूल अधिमाय नियम⁴ प्राप्त होता है जिसे हम "क्वाटमीकरण का नियम"⁵ कह सकते हैं। 'यथाय नाप से किसी यांत्रिक राशि का जो मान प्राप्त हो सकता है वह केवल उस राशि के आनुपगिक कारक के इष्ट माना में से ही कोई एक होता है।'

प्रत्यक्ष दत्ता म यह अधिमाय नियम दिया जा यांत्रिक राशि व मान का निर्दिष्ट कर दत्ता है। किन्तु यह भा स्पष्ट है कि इस नियम का सम्पूर्ण एवं अधिमाय नियम और हाता चाहिए जिसका द्वारा म यह जान मने कि यदि दिया वणिता की नापने म पूर्ववर्ती अवस्था जान हा ता उमरी विभिन्न पर्यवर्ती मभय अवस्थाओं की प्राथमिकता रितनी रितनी है अथवा नापने के विभिन्न परिणामों का प्राथमिकता रितनी रितनी है। किन्तु रणिता की नापने म पूर्ववर्ती जा अवस्था जान मभी जानी है वह तरंग-यांत्रिकी में रितनी है—तरंग के द्वारा निर्मित हाती है। मापने यत्र पर यही है—तरंग आकर पत्नी है। प्रथम द्वारा स्पष्टीकृत विक्षेपण म तुलना करने म ही चाहिए द्वितीय अधिमाय नियम प्राप्त हा जाना है। वस्तुतः जिस भौतिक राशि का नापना हा उमी व जानुपगिर इष्ट करने की श्रेणी के रूप म वह तरंग विक्षेपित हा मानी है। तत्र विद्युत् सञ्चारित रूप म ही हम यह मापने के लिए बाध्य हा जान है कि इस स्पष्टीकृत विक्षेपण के सघटका के जायामा व वर्गों व ही द्वारा विभिन्न सभय मानों की अपेक्षित प्राथमिकताओं का नाप हा जायगा। अतः अतः हम द्वितीय मूल अधिमाय नियम का जिसका नाम स्पष्टीकृत विक्षेपण का व्यापकीकृत नियम¹ रखा जा सकता है या फिर मरत है—

जिसी कणिका से मूल्य जिस यांत्रिक राशि की है—तरंग प्राप्त हा उस राशि के विभिन्न सभय मानों की प्राथमिकताएँ उस राशि के इष्ट-मानों में उस है—तरंग का स्पष्टीकृत विक्षेपण करने म प्राप्त सघटना के तत्पश्चात् जायामा (अधिक यथायथा पूरक मापका) के वर्गों की अनुपाती हाती है।

यह भी स्पष्टतम है कि इसी द्वितीय नियम का एक विविष्ट रूप बान² का यह स्पष्टीकृत विक्षेपण नियम है जिसका वणन पहले किया जा चुका है और जिसका उपयोग ऊर्जा³ राशि के लिए किया जाता है। किन्तु यह बात बहुत कम स्पष्ट है कि जिस नियम का हमने व्यतिकरण नियम का नाम दिया था वह भी इसी का एक विविष्ट रूप है। तथापि एक तक के द्वारा जिसे यह उद्धृत नहीं किया जा सकता यह प्रमाणित हो जाना है कि कणिका के निर्देशक कहलाने वाली राशियाँ पर स्पष्टीकृत विक्षेपण व व्यापक नियम का उपयोग करने स व्यतिकरण नियम भी प्राप्त हो जाना है। इस प्रकार जाठवे परिच्छेद में तरंग यांत्रिकी के भौतिकीय मम का स्पष्ट करने के लिए जिन दो नियमों को प्रस्तुत

1 Generalised principle of spectral resolution ■ Born

किया गया था वे दोनों हम व्यापक सिद्धान्त के द्वितीय मूल अधिमाय नियम के ही विशिष्ट रूप प्रमाणित हो जाते हैं। अब हम अनुच्छेद में जिन दो मूल अधिमाय नियमों की परिभाषा दी गयी है वे ही नवीन यांत्रिकी के प्राथिकता-मूलक निवचन के रूप तथा सुसंगत स्पष्टीकरण के लिए पर्याप्त हैं। यह जाहिर है कि कुछ छोटी छोटो गौण बातों और भी हैं जिनका विवेचन यहाँ उचित नहीं है। यहाँ प्राथिकताओं का निरपेक्ष मान मालूम करने के लिए दृष्ट-फलना के और ५—फलना का सामान्य वर्णन करने की भी आवश्यकता होती है तथा जिन अपवृष्टि दशाओं में दृष्ट-मान घट्टमानी^१ होते हैं उनके लिए द्वितीय अधिमाय नियम की परिभाषा का विस्तार भी करना पड़ता है। किन्तु ये सूक्ष्म बातें हैं और यह करने में कोई सकोच नहीं हो सकता कि सिद्धान्त की मुख्य मुख्य बातें तो सतापजनक और तर्क-भंग रीति से प्रमाणित हो ही गयी हैं।

और अब हम उस आपत्ति पर विचार करना चाहते हैं जो अनेक पाठकों के मन में उपस्थित हुई होगी। निःसंदह कई लोग यह कहेंगे कि नवीन यांत्रिकी का यह प्राथिकतामूलक निवचन संभवतः बहुत अच्छा और अत्यंत सुसंगत तो है किन्तु क्या यह थोड़ा-सा उच्छ्वल या मनमाना^२ नहीं है? चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी की परिपाटी को छोड़कर उससे इतनी विपरीत और जटिल धारणाओं का निमाण क्या किया जाय? इसका उत्तर हमारे पास यही है कि जिस प्राथिकतामूलक निवचन की हमने यहाँ दिखायी है उसके अतिरिक्त आज कोई अन्य प्रकार का निवचन संभव ही नहीं है। इससे हमारा तात्पर्य यह है कि इस समय हमारे पास केवल यही उपाय ऐसा है जिससे प्रयोग द्वारा आरम्भित तर्क यांत्रिकी की पृष्ठभूमि में समस्त क्वांटम घटनाओं की व्याख्या हो सकती है। अन्य दिशाओं में किया हुआ कोई भी प्रयत्न अभी तक सफल नहीं हो सका है। इस पुस्तक का लेखक इस बात को दूसरा से अधिक अच्छी तरह जानता है क्योंकि उमने इस प्रकार के प्रयोग किये हैं जिन्हें विकट कठिनाइयों के कारण अन्त में छोड़ देना पड़ा था।

उपसंहार में हम कह सकते हैं कि समस्त प्रायोगिक तथ्यों से सुसंगत सिद्धान्त की इन नियमों के आधार पर निमाण कर सकने की संभावना से तथा इन गुणों से युक्त किसी अन्य उपाय के आविष्कार की असंभवता से ही उपयुक्त मूल

अधिमाय नियमा का औचित्य प्रकट है। वास्तव में सभी भौतिक सिद्धान्ता का औचित्य ऐसे ही तर्कों पर निर्भर रहता है क्योंकि प्रत्येक भौतिक सिद्धांत के मूल में कुछ मनमाने अधिमाय नियमा का अस्तित्व रहता है और इन नियमा की सफरता ही उनके उपयोग को उचित बना देती है।

नीचे के अनुच्छेदा में हम उन गभीर विभिन्नताओं का सूक्ष्म विवेचन करेंगे जिनके कारण नवीन यांत्रिकी का प्राथिकतामूलक निवचन और चिर प्रतिष्ठित सिद्धान्त इतने अममान हो गये हैं। यहाँ केवल इतना ही कहेंगे कि जिन नियमा का इस अनुच्छेद में अध्ययन किया गया है उनका रूप 'डिरैक' और 'जाडन' जैसे वैज्ञानिका की कृतियाँ में और भी अधिक अमूर्त और व्यापक हो गया है और इस नवीन रूप में इस सिद्धांत का नाम रूपांतरण सिद्धांत है। यह विकास इतनी कठिन गणितीय प्रक्रियाओं के द्वारा हुआ है कि उसका विवेचन यहाँ नहीं किया जा सकता।

२ अनिश्चितता के अनुबन्ध

नवीन यांत्रिकी के भौतिक निवचन से कुछ अत्यन्त राक्षस और महत्वपूर्ण परिणाम निकलते हैं जिनकी ओर सबसे पहले हाइज़नबर्ग ने हमारा ध्यान आकर्षित किया था। गणितीय भाषा में ये उन असमताओं के द्वारा व्यक्त होते हैं जो आज अनिश्चितता के अनुबन्धों के नाम से प्रसिद्ध हैं। हाइज़नबर्ग ने इन असमताओं को अपनी नवीन क्वांटम यांत्रिकी के व्युत्पत्तिहीनता के अनुबन्धों की सहायता से प्रमाणित किया था। उनका मर्म समझाने के लिए हम उस प्रतिरूप का महारा लेंगे जो तरंग-यांत्रिकी प्रस्तुत करती है। हम यह प्रमाणित करेंगे कि यदि यह मान लिया जाय कि किसी भी कणिका की अवस्था सदैव एक ψ -तरंग के द्वारा निरूपित हो सकती है तो इस यांत्रिकी का जो भौतिक निवचन पहले स्वीकार किया जा चुका है उसी से ये असमताएँ अनिवार्यतः प्राप्त हो जाती हैं।

सबसे पहले किसी स्वतन्त्र कणिका की आनुप्राणिक एक वृण समतल तरंग का लीजिए। हमें विदित है कि इस तरंग द्वारा एक पूर्णतः निर्णित गत्यात्मक अवस्था निर्दिष्ट होती है। अतएव इससे एक सुपरिभाषित दिष्ट राशि 'संवेग' भी निर्दिष्ट होती है। यही बात हम यह कहकर 'यवन' करत हैं कि विचाराधीन अवस्था संवेग

की दृष्टि से और फलन ऊर्जा की दृष्टि से भी 'शुद्ध' अवस्था है। किन्तु एक-वर्ण समतल तरंग का आयाम सर्वत्र एक-समान होता है। अतः व्यतिकरण नियम हमें यह कहने के लिए बाध्य करता है कि उम कणिका का स्थान बिल्कुल अनिर्णीत है और आकाश के किसी भी बिन्दु पर उसके विद्यमान होने की प्रायिकता सर्वत्र एक-समान है। अतः हमें कहना पड़ता है कि किसी कणिका की गत्यात्मक अवस्था के पूर्णतः निर्णीत होने में ही उसके आकाशीय स्थान की पूर्ण अनिर्णीतता¹ भागिभूत है। किन्तु जिस अवस्था में स्वतंत्र कणिका की आनुपंगिक तरंग एक-वर्ण और समतल होती है वह स्पष्टतः समतल तरंगों के अध्यारोपण² द्वारा निर्मित तरंग-गुच्छ³ के ही रूप में विद्यमान रहेगी और तब इस तरंग-गुच्छ का विस्तार कुछ निश्चित सीमाओं में ही निर्धारित किया जा सकेगा। अतः कणिका का स्थान भी अधिक जल्दी तरह निर्णीत हो जायगा क्योंकि अनिवार्यतः उसका अस्तित्व उस तरंग-गुच्छ द्वारा अधिष्ठित प्रदेश में ही सम्भव है और केवल इसी प्रश्न में आयाम का मान शून्य से भिन्न होगा। किन्तु तरंग-गुच्छ का गणितीय निरूपण फूरियर अनुकला⁴ के जिस प्रसार द्वारा हो सकता है उसमें यह गुण है कि तरंग-गुच्छ का विस्तार जितना ही छोटा होगा उतना ही अधिक विस्तृत उसके फूरियर विक्षेपण के सघटका द्वारा अधिष्ठित स्पेक्ट्रमीय अन्तराल⁵ होगा। इसी बात को हम अधिक अर्थ-सूचक शब्दा में या कह सकते हैं कि तरंग-गुच्छ का विस्तार जितना ही कम होगा उसमें एक-वर्णता भी उतनी ही कम होगी। तब व्यतिकरण और सैद्धांतिक विक्षेपण के दोनों नियमों के अनुप्रयोग से यह स्पष्ट हो जाता है कि जब कणिका का स्थान अधिक सुनिश्चित होता है तब उसकी गत्यात्मक अवस्था उतनी ही अधिक अनिश्चित होती है। जितना एक तरफ लाभ होता है उतनी ही दूसरी तरफ हानि हो जाती है। अतः में उम सीमान्त दशा⁶ को स्वीकार कर एक-वर्ण समतल तरंग से बिल्कुल विपरीत है। इसके लिए हम यह कल्पना करें कि तरंग-गुच्छ का विस्तार अनन्ततः स्वल्प है। तब आनुपंगिक कणिका का स्थान यथा तथ्यतः बात है अर्थात् हमारे सामने जो अवस्था है यह स्थान की दृष्टि से "शुद्ध" है। किन्तु इस सीमान्त दशा में तरंग-गुच्छ का निरूपण फूरियर-अनुकला के एक प्रसार द्वारा होगा जिसमें समस्त सम्भव एक-वर्ण समतल तरंगों सम्मिलित होंगे।

अतः हमारे मूल नियम हमें यह कहने के लिए बाध्य करेंगे कि इस दशा में गति की अवस्था पूर्णतः अनिर्णीत है। जयान् स्थान के यथातथ्य ज्ञान में ही गत्यात्मक अवस्था-मध्यधी पान का पूर्ण अभाव भी गर्भित है। इसलिए व्यापक परिणाम यह निकलता है कि तरंग-यात्रिकी के भौतिक निवचन में जिन मूल अधिमाय नियमों का आश्रय लिया गया है उनमें जोर तरंग-गुच्छ का एक-वर्ण तरंग के अध्वारापण के द्वारा निरूपित करने की विधि में ही यज्ञ बान निहित है कि किसी क्षण पर कणिका के स्थान का और उसी क्षण पर उसकी गति की अवस्था का एक-मात्र यथातथ्य ज्ञान लेना असम्भव है।

जिन तर्कों के द्वारा हाइज़नबर्ग के अनिश्चितता के अनुबन्ध प्राप्त होते हैं उनका हमने यहां बहुत कुछ गुणात्मक रूप में ही प्रस्तुत किया है ताकि विषय कुछ सरलता से समझ में आ जाय। यदि उनके तर्कों को अधिक दृढ़तापूर्वक प्रस्फुटित किया जाय तो निम्नलिखित परिणाम निकलता है। किसी निर्देशांक की अनिश्चितता^१ और सदैव के तत्संगत मघटक की अनिश्चितता का गुणनफल सदैव कम-से-कम प्लांक के नियतांक h के परिमाण की कोटि^२ का होना है। इस प्रकार पूर्व-वर्णित अनिश्चितता के अनुबन्ध प्राप्त हो जाते हैं। इनसे प्रकट होता है कि किसी कणिका का कोई निर्देशांक और उसके सदैव का तत्संगत मघटक दोनों एक-साथ यथातथ्यतापूर्वक नहीं जाने जा सकने और यदि इन दोनों मध्यगमियों^३ राशियों में से एक की अनिश्चितता बहुत कम हो तो दूसरी की बहुत अधिक होती है।

हम यह बात पुनः यह दशा चाहते हैं कि अनिश्चितता के अनुबन्ध एक ओर तो कणिका की अवस्था का किसी तरंग से सागत्य स्थापित करने की संभावना के नियमों के तथा दूसरी ओर प्राथिकतामूलक निवचन के व्यापक नियमों के अनिवार्य परिणाम हैं। किन्तु इन तर्कों को प्रस्तुत कर देने पर भी यह प्रमाणित करना आवश्यक प्रतीत होता है कि कभी भी और किसी भी प्रकार के नाप के द्वारा स्थान और सदैव का ज्ञान अनिश्चितता के अनुबन्धों द्वारा निर्दिष्ट सीमाओं से अधिक यथातथ्यतापूर्वक प्राप्त नहीं किया जा सकता। यदि यह बात सही न हो तो कणिका की अवस्था को सदैव किसी आनुपंगिक तरंग द्वारा निरूपित करना असम्भव प्रमाणित होगा। हाइज़नबर्ग तथा बोह्र ने नापने की प्रक्रिया का सूक्ष्म और गहन विश्लेषण करके यह सिद्ध कर दिया है कि किसी भी नाप के परिणाम अनिश्चितता के अनुबन्धों के

प्रतिरूल नहीं निकल सकते। और हम देखेंगे कि यह बात निम्नलिखित दो मूल अमरताओं के अस्तित्व पर आश्रित है जिनमें कुछ पारस्परिक सम्बन्ध विद्यमान होने की भी अत्यधिक सम्भावना है। एक ओर तो है निया का क्वांटम और दूसरी ओर है द्रव्य और विकिरण की अमरत सरचना।

नापने के प्रयोग में अनिश्चितता के अनुभव जिनकी यथायता की अनुमति दत्त है उससे अधिक यथायता क्या नहीं प्राप्त हो सकती, इसे समझने के लिए मान लीजिए कि हम किसी कणिका के स्थान का यथातथ्य निर्णय करने का प्रयत्न कर रहे हैं। आकाश के अत्यन्त सूक्ष्म भाग का अवेषण करने के लिए सबसे अधिक सुग्राही विधि यह है कि छोटे तरंगदैर्घ्य के विकिरण का उपयोग किया जाए। यह विधि किसी भांति यांत्रिक विधि का अपेक्षा बहुत अधिक सुग्राही है और इसके द्वारा हम आकाश के ऐसे दो बिन्दुओं में विभेद कर सकते हैं जिनका अन्तर कम से कम उस तरंगदैर्घ्य के बराबर हो। कणिका का स्थान निर्णय करने में जितनी ही अधिक यथायता हमें अभीष्ट होगी अवशेष विकिरण का तरंगदैर्घ्य भी उतना ही छोटा आवश्यक होगा। किन्तु यहाँ निया के क्वांटम का अस्तित्व विकिरण के क्वांटम के रूप में प्रकट होता है। अवशेष विकिरण का तरंगदैर्घ्य हम जितना ही घटायेगे उतनी ही उनकी आवृत्ति बढ़ेगी। फलतः उनकी ही उनके फोटॉन की ऊर्जा भी बढ़ जायेगी। और ये फोटॉन विचाराधीन कणिका का उतना ही अधिक सव्य प्रदान कर सकेंगे। स्थान का यथातथ्य नाप करने के लिए प्रयुक्त उपकरण हमें यह नहीं बता सकेगा कि नापने की क्रिया में कणिका के सव्य में कितना परिवर्तन हुआ गया है। अतः नाप पूरा हो चुकने के बाद कणिका का स्थान जितनी ही अधिक यथायतापूर्वक नाप हुआ जायेगा उतना ही अधिक अनिश्चितता कणिका की गत्यात्मक अवस्था में आ जायेगी। इसी विवेचन का पारिमाणिक रूप देने से फिर वही अनिश्चितता के अनुभव प्राप्त हो जाते हैं। विपरीततः किसी इन्वर्ट्रान के सव्य का नाप उसके द्वारा परिमित प्रमाण में उत्पन्न डाप्लर प्रभाव के अध्ययन से हो सकता है। पुनः हम उसी परिणाम पर पहुँचते हैं कि नापने का सव्य जितनी ही अधिक यथायता है किसी कणिका की गत्यात्मक अवस्था का निर्णय करता है उतनी ही अधिक अनिश्चितता नाप के बाद उस कणिका के स्थान के सम्बन्ध में पदा हो जायेगी। अनिश्चितता के अनुभव इसी तरह

का गणितीय भाषांतर मात्र है। बाह्य हाइड्रोजनवग तथा अय वैज्ञानिका ने इस बात के जो अनेक उदाहरण प्रस्तुत किये हैं उनका विस्तृत वर्णन यहां नहीं किया जा सकता क्योंकि उसके लिए चित्रा और गणितीय सूत्रों की आवश्यकता होगी। ये उदाहरण विश्वामात्पादक हैं और आज तो प्रायः सब ही भौतिकज्ञ ऐसे मापन यंत्र के आविष्कार की अममवता को स्वीकार करते हैं जो हाइड्रोजनवग की अममताओं में निहित सूर्यादाओं का उल्लंघन कर सके।

पिछले दो अनुच्छेदों में वर्णित परिणामों के कुछ दार्शनिक पहलुओं पर विचार करने में पहले हम यह स्पष्ट कर देना चाहते हैं कि अनिश्चितता के प्रतिबन्ध तथा अधिक व्यापक रूप से उपयुक्त प्रायिकता मूलक निवचन के व्यापक नियम क्या पुरानी यांत्रिकी की सत्यापित प्रागुक्तियों के विरोधी नहीं हैं और क्या वे इन प्रागुक्तियों का प्रथम सन्निकटन के रूप में सत्य माने जा सकते हैं।

३ पुरानी यांत्रिकी से सागत्य'

क्वांटम सिद्धान्त के विकास के प्रारम्भ से ही यह बात स्पष्ट थी कि यदि चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी में उत्कृष्ट याथातथ्य नहीं है तो इसका उत्तरदायित्व त्रिया के क्वांटम के अस्तित्व पर है। दूसरी ओर यदि प्लांक के नियतांक का मान शून्य होता तो चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी भी पूर्णतः यथातथ्य होती। पुराने क्वांटम सिद्धान्त की सभी शाखाओं में प्लांक के कृष्ण-वस्तु विकिरण सिद्धान्त से लेकर बोह्र तथा समरफेल्ड की धारणाओं के विकास की पराकाष्ठा तक सबकुछ हमें यही दिलाता है कि h के मान को शून्य की ओर प्रवृत्त करने से क्वांटम सूत्र चिरप्रतिष्ठित सूत्रों से अभिन्नता प्राप्त कर लेते हैं।

यही मूल धारणा नवीन यांत्रिकी में भी पुनः प्रकट होती है। यदि हम क्वांटम यांत्रिकी के दृष्टिकोण से विचार करें तो पुरानी और नवीन यांत्रिकी की समस्त विभिन्नताएँ निर्देशांक निरूपक मैट्रिक्स और उन निर्देशांकों के सद्युग्मी लागरांजीय सार्वगणिक निरूपण करनेवाले मैट्रिक्स की व्यत्ययहीनता के ही कारण उत्पन्न हुई हैं और यदि h का मान शून्य हो तो यह व्यत्ययहीनता की सभी h की अनुपाती हानि के कारण लुप्त हो जायेगी। यदि हम तरंग-यांत्रिकी का दृष्टिकोण पसंद करें तो यह प्रकट होता है कि जब h शून्य के बराबर हो तो h का अनुपाती हानि के कारण ψ —तरंग

का तरंग-दैर्घ्य भी शून्य हो जायगा। तब ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान सदा ही सत्य रहेगा क्योंकि यह समझना बठिन नहीं कि जब तरंग-दैर्घ्य अनन्त हो तो ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान सबदा अनुप्रयोज्य होता है। इसलिए जब h शून्य की ओर प्रयुक्त होता है तब ϕ —तरंग के प्रचरण-समीकरण के स्थान में ज्यामितीय प्रकाश का समीकरण अर्थात् यावोजी का समीकरण सदा ही प्रतिस्थापित हो सकता है और इस प्रकार पुरानी और नवीन यांत्रिकी की अनन्तस्पर्शी एकात्मता सिद्ध हो जाती है।

अतएव यह समझना भी आसान है कि बड़े परिमाण की घटनाओं—स्पष्ट स्तरीय घटनाओं—के लिए चिर प्रतिष्ठित यांत्रिकी साधारण व्यवहार में क्या सदा पूर्णतः सत्य प्रमाणित होती है। इन घटनाओं में भौतिक राशियों के मान इतने बड़े होते हैं कि उनमें त्रिया या ब्याटम सबका उपेक्षणीय समझा जा सकता है और उसके अस्तित्व का प्रभाव भौतिक मापन में यथायता की अनिवाय कमी के कारण पूर्णतः छिप जाता है। सत्यात्मक उदाहरणों में इस बात का स्पष्ट करना सरल है। यथा, यदि हम एक मिलीग्राम के दशमांश के भारवाली गोली के लिए हाइड्रोजन का नो असमताओं का सत्यापन करना चाहें तो उसके वजन का मान एक मिमीमीटर प्रति सेकंड तक सही ज्ञात होने पर भी उसके गुरुत्व-केन्द्र के स्थान का इतना यथायतापूर्वक मापने की आवश्यकता पड़ेगी कि उसमें भूल 10^{-1} सेंटीमीटर से भी कम हो। और गोली का भार अत्यन्त स्वल्प होने के कारण यह तो असाधारण रूप से अनुकूल उदाहरण है। किन्तु पुरानी और नवीन यांत्रिकी के अधिराज को और भी अच्छी तरह समझने के लिए हम एक विशिष्ट दशा का अधिक सूक्ष्म अध्ययन करेंगे।

मान लीजिए कि हम किसी वक्रिका की स्थूल मापदंडीय गति का अध्ययन कर रहे हैं यथा किसी चम्बकीय क्षेत्र में इलैक्ट्रॉन की गति का। हमें विदित है कि चिर प्रतिष्ठित धारणाओं के द्वारा इस गति का बिल्कुल सही विवरण दिया जा सकता है। इस बात का अनिश्चिता के अनुबन्ध से भेद कैसे है? इसके स्पष्टीकरण के लिए सबसे पहले हमें यह कहना है कि इस स्थूल-स्तरीय प्रयोग की परिस्थिति में हम निजनी लम्बाई का प्रत्यक्षतः माप सकेंगे वह विचाराधीन स्वल्प वक्रिका की आनुपंगिक तरंग के तरंग-दैर्घ्य की अपेक्षा बहुत ही बड़ी है। फलतः ऐसे स्थूल गुच्छ का अस्तित्व संभव है जिसकी लम्बाई प्रत्यक्षतः मापी जा सकेगी। लम्बाई से बहुत छोटी हो, किन्तु फिर भी वह लगभग बराबर तरंग-दैर्घ्यवाला तरंग से निर्मित हुआ हो। इसलिए अनु-अनुष्ठित तथा यथायतापूर्ण प्रयोग में

किंवा न मात्र मन्त्र ही जाने न बल की श्रद्धा का निष्कर्ष हस्तगत
अनुसंधान का प्रनिष्ठित विवेक दिना है। एक तरफ न जाना है कि। और
चकि न मन्त्रान्तर हमार लिए व्यवहारित दिन्तु मन्त्र और मन्त्र एव ही है
जन्ति इन मन्त्रमन्त्रोंय मात्र की यथायता का जानना न तम उन वणिग के
लिए उन मुनिर्गित स्थान और एक मुनिर्गित का निवारित कर गया। इन
प्रनिष्ठित मन्त्रयांत्रिकी के प्रारम्भ में ही प्राप्त एक मौलिक परिणाम के अनुसार
प्रनिष्ठित मन्त्रयांत्रिकी के 'य' का विस्थापन-योग्य ठीक जना ही होता है जितन 'य'
कि प्रनिष्ठित यांत्रिकी उसी अनुपातित वणिग के लिए निवारित करती।
अतएव हमार विदुन्मन्त्र नरानुच्छ ठीक कि प्रनिष्ठित वणिग के ही समान
तमन वणा और चकि व्यवहारित नियम के अनुसार यात्रावित वणिग सब उस
नरानुच्छ के भीतर ही अवस्थित रहेंगे। इसलिए न कुछ ठीक उनी तरफ पडित
होगा माना वामनवित वणिग चिर प्रनिष्ठित यांत्रिकी के नियमा या ही पाता
कनी है। इन उदाहरण में हम यह अच्छी तरह समझ सतन है कि क्याउम जति
अनिश्चितता के गुण रहने का कारण केवल यही है कि हमारे स्थायित्व मात्र
में यथायता की वमी है।

इसलिए नवीन और पुरानी यांत्रिकी की विरोध हीनता के विषय में कोई
गभीर कठिनाई नहीं है। ऐसा जान पडता है कि क्याउम भौतिकी के भय का
निर्माण चिर प्रनिष्ठित भौतिकी के ही द्वारा आर किया गया है जिससे फिर प्रतिष्ठित
भौतिकी नष्ट ता हुई नहीं, किन्तु एव अधिक विनाश भय में समाविष्ट हो गयी है।
विज्ञान के लम्बे इतिहास में मवदा ही प्रगति इसी प्रकार उत्तरात्तरवर्ती सगिाठनों
के द्वारा होती रही है।

४ नवीन यांत्रिकी में अनिर्णीतता

अब किसी प्रारम्भिक क्षण पर किसी निवाय के सब अंग के स्थान और
गयात्मक अवस्थाएँ जान हा ता चिर प्रतिष्ठित यांत्रिकी के समीकरण उम निवाय
की गति का पूर्णत निर्णीत कर देते हैं। यथा किसी वणिग की फिर प्रतिष्ठित
यांत्रिकीय गति की प्रागुक्ति पूर्ण रूप से संभव है यदि किसी आदि-क्षण पर उसका
स्थान तथा वेग ज्ञात हा। किसी यांत्रिक निवाय की वर्तमान अवस्था के सम्बन्ध में

कुछ बात जान हाने पर उसके अनिवार्य भविष्य की प्रागुक्ति की सम्भावना ही चिर-प्रतिष्ठित यात्रि की वा नियमिवाद^१ है। इस यात्रि की वा जा आश्चर्यजनक सफलताएँ मिली थीं विशेषकर गणित-ज्यातिष में, उन्हीं के कारण समस्त भौतिकी का प्रयत्न यही था कि गढ़ात्तिक भौतिक विज्ञान का निर्माण भी ऐसा होना चाहिए जिसमें यह नियतिवाद नबदा मध्य प्रमाणित हो सके। अतः जितनी भी स्थूल-स्तराय घटनाओं का अध्ययन किया गया उन सबमें इस माँग की पूर्ति अभीष्ट समझी गयी और समस्त चिर प्रतिष्ठित सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञान अवकलजों तथा आगिक अवकलजों के समीकरणों पर आश्रित किया गया ताकि यदि अवस्था सम्बन्धी कुछ स्थानों से प्रारम्भ करके किसी भी भौतिक निकाय के उत्तरोत्तर विकास का प्रकट परिचालन^२ हो सके। भौतिक विज्ञान की जिन शाखाओं में प्रायिकता-कलन निविष्ट किया गया था उनमें भी यही मान लिया जाता था कि मूल घटनाएँ तो सर्व नियति के बंधन में नियमों का ही पालन करती हैं, किन्तु जा स्थूल घटना अध्ययन का विषय होती हैं उसमें सम्भावित इन मौलिक घटनाओं की यदृच्छता^३ के तथा उनका बहुत बड़ी संख्या के कारण ही इन घटनाओं की समष्टि के लिए सांख्यिकीय विधियाँ का तथा प्रायिकता की धारणा का उपयोग उचित समझा जा सकता है। बहुत कुछ अनजाने ही भौतिक घटनाओं की आन्तरिक नियति अर्थात् कम-से-कम सिद्धान्त उनका पूर्ण प्रागुक्ति की सम्भावना ने एक प्रकार के वैज्ञानिक आगम^४ का रूप ले लिया था। हम देखेंगे कि नवीन क्वांटम सिद्धान्तों के विकास ने इस स्थिति में गहन परिवर्तन कर दिया है।

इन दृष्टि से पुरानी और नवीन यात्रि में जो अन्तर है उसको हृदयगत करने के लिए हमें स्मरण रखना चाहिए कि किसी निकाय के परिवर्तन की प्रकट प्रागुक्ति के लिए चिर प्रतिष्ठित यात्रि में यदि अवस्था सम्बन्धी जिन मूल बातों का योग पदिक जान आवश्यक था वे ठीक वही हैं जिनका योगपदिक नियम अनिश्चितता के अनुसंधानों के अनुसार असंभव है। हम पहले भी बता चुके हैं कि किसी निकाय के चिर प्रतिष्ठित यात्रिकीय गति-समीकरणों का प्रकट हल निकालने के लिए किसी बात ध्यान पर उस निकाय के अवयवों का वियोजन (कांफिगरेसन) और उनका गत्यात्मक अवस्था का जानना जरूरी है। किन्तु आधुनिक भौतिक विज्ञान की दृष्टि में

प्रत्येक निकाय अन्तिम विश्लेषण में केवल अनन्त कणिकाओं का समुदाय मात्र समझा जा सकता है। अतः किसी एक ही क्षण पर इन सब विभिन्न कणिकाओं के निर्देशांक और वेग (अथवा गति) मालूम करना आवश्यक होगा। किन्तु अनिश्चितता के अनुबन्ध का वास्तविक अर्थ यही है कि इन बातों का यथाव्यवस्था तथा योग्यपद्धति नाम सम्भव है। इसमें सन्देह नहीं कि जो नियतांक हमारे मापकरण मात्राओं की अपेक्षा अत्यन्त ही स्थूल हैं उसकी पारिमाणिक क्रांति के कारण क्वांटमीय अनिश्चितताएँ साधारण मापदण्डोंय भौतिक घटनाओं के लिए उपक्षणीय हो जाती हैं। अतः नियतिवाद भी पटुपटु सत्य दिखाई देने लगता है। किन्तु भौतिक घटनाओं के सूक्ष्म स्तरीय अध्ययन में इन अनिश्चितताओं का महत्त्व बहुत अधिक होगा और उस क्षेत्र में ये अनिश्चितताएँ इतनी बढ़ जायगी कि घटनाक्रम का नियतिवाद-समर्थक विवरण सम्भव ही न रहेगा।

क्वांटम भौतिक विज्ञान में ये नियतिवाद के तिराहित हो जाने से—कम से कम उनके गिराविल हो जाने से—जा बची हुई थी वह पूरी हुई है प्रायिकता के नियमों का प्रादुर्भाव से। किन्तु सांख्यिकीय यांत्रिकी के प्रसंग में प्रायिकता के उपयोग का जो अर्थ या वह यहाँ नहीं है। यहाँ प्रायिकता का निश्चित करने का उद्देश्य संवधा भिन्न है। जिन चिर प्रतिष्ठित सिद्धान्तों में प्रायिकता का उपयोग किया जाता है उनमें भी यह बात तो मान ही ली जाती थी कि मूल प्रक्रियाएँ कुछ नियमों के ही अधीन रहती हैं। और प्रायिकता का महारा केवल ऐसी स्थूल-स्तरीय घटना के सम्बन्ध में लिया जाता है जिसमें मौलिक घटनाओं की बहुत घड़ी सराया समाविष्ट है। इसके विपरीत क्वांटम भौतिकी में प्रायिकता का उपयोग मौलिक घटनाक्रम के ही विवरण के लिए प्रयोज्य किया जाता है। यह समस्या किस रूप में उपस्थित होती है इसका अधिक अन्तरीय तरह समझने के लिए हमें यह बताना पड़ेगा कि यह नवीन यांत्रिकी मौलिक घटनाक्रम का तरंगों के द्वारा किस प्रकार निरूपित करती है।

पहले हम अनेक एक कणिका के ही आकार पर अपना तर्क प्रस्तुत करेंगे। परिच्छेद १२ में बताया हुई विधि से इसी विचार धारा का उपयोग अन्तः कणिकाओं के निकाय के लिए भी हो सकता है।

धोरे स प्रेक्षणा या प्रयोगों के परिणामों नाम होने पर अर्थ प्रेक्षणा अथवा भविष्य में होनेवाले प्रयोगों के परिणामों का प्रागुक्ति कर देना ही मन्दागिन भौतिक विज्ञान का उद्देश्य है। चिर प्रतिष्ठित भौतिकी में यह मान लिया जाता है कि किसी कणिका के निर्देशांक और उसके तात्क्षणिक वेग दोनों का ही योग्यपद्धति नाम सम्भव है। अतः चिर प्रतिष्ठित यांत्रिकी के समाकरणों के द्वारा हम सिद्धान्तों की कणिका पर किया

आगामी क्षण में किये गये प्रेक्षण अथवा माप के परिणाम की अमिथ प्रामुक्ति कर सकने हैं। किन्तु इसके विपरीत नवीन यांत्रिकी में हम प्रारम्भ में ही यह मान लेते हैं कि उस कणिका के निर्देशांक का तथा सवेग का यौगिकिक एवं प्रवृत्त यथाथ नाप असम्भव है। अधिकतम प्रयाग-सम्बन्ध यथाथतापूर्वक किये जाने पर भी इन राशियों के नाप में हाइजनबर्ग के अनिश्चितता के अनुबन्ध द्वारा निर्धारित परिमाण से कम अनिश्चितता प्राप्त करता सम्भव नहीं हो सकता। माप के पश्चात् कणिका का जो अवस्था जान होगी वह जिस आनुपगिक तरंग गुच्छ के द्वारा निरूपित होगी वह कभी भी ऐसा नहीं हो सकता जो बिन्दु-कल्प भी हो और एक-वर्ण भी हो। या तो आकाश में या आवृत्तियों के परास में और सामान्यतः दाना में सदैव उसका कुछ-न-कुछ विस्तार होगा ही। तब ψ -तरंग के आदि रूप से प्रारम्भ करके प्रचरण-समीकरण के द्वारा हम उस तरंग के उस समय तक के समस्त विवास का यथातथ परिवर्तन कर सकेंगे जब तक कि उसका कोई नवीन प्रेक्षण अथवा माप न किया जाय। फलतः हम यह भी बता सकेंगे कि कणिका-सम्बन्ध अमुक राशि का अमुक मान प्राप्त करने की प्रायिकता उन क्षण पर कितनी होगी जिस क्षण पर उस राशि का नाप फिर किया जायगा। जब यह नवीन माप संपन्न हो चुकेगा तब हमें उस कणिका की अवस्था के सम्बन्ध में नवीन ज्ञान प्राप्त हो जायगा और इसमें प्रायिकता-सम्बन्धी स्थिति बिल्कुल बदल जायगी, ठीक उसी तरह जिस तरह कि किसी घटना सम्बन्धी ज्ञान प्राप्त हो जाने पर उस घटना की प्रायिकता सम्बन्धी स्थिति बदल जाती है। अतः इस नवीन माप के बाद एक ऐसी नयी तरंग का निर्माण करना पड़ेगा जो उस कणिका सम्बन्धी हमारे ज्ञान की नवीन स्थिति को निरूपित कर सके। इस परिच्छेद के प्रारम्भ में जिस विचार का विवेचन किया गया था, उसके अनुसार हम कहेंगे कि निया के क्वांटम के अस्तित्व के कारण प्रत्येक प्रयाग कणिका का अवस्था में कुछ ऐसी विचार उत्पन्न कर देता है जिनका नियन्त्रण नहीं किया जा सकता। उनका फल यह होता है कि पूर्ववर्ती अवस्था और परवर्ती अवस्था में कोई बाध कारण सम्बन्ध स्थापित नहीं किया जा सकता। यह विचार क्रिया के क्वांटम के अस्तित्व से सम्बद्ध है जहाँ कि हम पहले—विशेषकर पिछले अनुच्छेद में—नेह्रु ने ह और माप की प्रक्रिया सम्बन्धी अनिश्चितता के कारण की असीम घटना में यही बाध होता है। दो मापों के मध्यवर्ती समय में ψ -तरंग का विकास अपने-आप ही प्रचरण-समीकरण के द्वारा पूर्णतः निर्णीत हो जाता है। अतः यह तो प्रवृत्ति निरूपित करने का नियम का पालन करता है। किन्तु इससे यह परिणाम निम्नी भी तब तब निर्माण हो जाता कि प्रेक्षक और माप्य घटनाओं में भी प्रवृत्ति नियम विद्यमान है कणिका

अगचिक्कर है कि आधुनिक क्वांटम भौतिकी के लिए अनिवार्य हान पर भी वे प्रष्ट नियतिवाद के परियाग को अंतिम रूप में स्वीकार कर लें। वे ता यहाँ तक कहते हैं कि नियति-गूय विज्ञान की तो कल्पना ही नहीं की जा सकती। इस मत को हम ता अतिगयाविन ही समझते हैं क्वाकि क्वांटम भौतिकी का अस्तित्व ता है ही और वह नियतिगूय भी है। किंतु यह विचार भी हमें पूणत अनुचिन नहीं जान पता कि किसी न किमी दिन भौतिक विज्ञान पुन नियतिवाद के पथ पर लौट आया और तब हम विज्ञान की वर्तमान अवस्था को हम ऐसी समझने लगेंगे मानो क्षण भर के लिए रास्ता भूलकर हम घबरा में पड गये थे और हमारी धारणाओं की अपवाप्तता ने हमें विचार कर दिया था कि पारमाणविक क्षेत्र में हम ठीक नियतिवाद के पथ पर चलना थो समय के लिए तो छाड ही दें। यह समझ है कि सूक्ष्म-स्तरीय जगत में काय-कारण के नियम का अनुसरण करने की हमारी वर्तमान अशमता का कारण यही है कि हम कणिका, आकाश काल आदि धारणाओं का उपयोग करते हैं। ये धारणाएँ हमने अपन वर्तमान स्कुल-स्तरीय अनुभव के आधार पर बनायी हैं और इन्हीं का हम सूक्ष्मस्तरीय विवरण में भी उपयोग करना चाहते हैं। किंतु कोई भी बात ऐसी नहीं है जो हमें विश्वास दिला सके कि इस क्षेत्र में वास्तविकता का निरूपण करने के योग्य क्षमता इन धारणाओं में है। वस्तुतः तथ्य इससे विपरीत ही मालूम पडता है। यद्यपि हम यह मानते हैं कि अभी क्वांटम भौतिकी को स्पष्टत समझ सकने के लिए अनेक मौलिक संशोधना की आवश्यकता है तब भी व्यक्तिगत रूप से मुने यह अधिक संभव नहीं मालूम देता कि हम पूर्व कालीन नियतिवाद को पूण रूप से पुन प्रतिष्ठित कर सकें। नवीन यांत्रिकी के विकास से उसे जो आघात लगे हैं वे इतने गहर हैं कि उन्हें मिट देना संभव नहीं है। निमदेह बुद्धिमानी यही कहने में है कि इस समय तो क्वांटम जनित घटनाओं का भौतिक विज्ञान नियतिवादी नहीं है।*

५ परिपूरकता, आदर्शिकरण, आकाश और काल^१

नवीन यांत्रिकी की धारणाओं ने जो मौलिक रूप ग्रहण किया है उसके गूणों को स्पष्ट करने में बाह्य ने जिनका काय आधुनिक भौतिकी के विकास में आता है

* "यूमान (J. Von Neumann) ने प्रमाणित कर दिया है कि नवीन यांत्रिकी के प्राविशक मय नियम किसी भी प्रकार की प्रच्छन्न नियति के अस्तित्व से असंगत हैं। उन यह अर्थन दुष्टनीय है कि भविष्य में पारमाणविक भौतिकी में नियतिवाद का प्रणिष्टा पुन हो सके।

अतः तक अत्यन्त महत्त्वपूर्ण रहा है अपने मदद गहन और बहुधा विलक्षण अध्ययना से बहुत बड़ी सहायता प्रदान की है। विरोधित परिपूरकता की धारणा, जो दार्शनिक दृष्टिकोण से इतनी विचित्र है उन्हीं की दन है।

इलैक्ट्राना जसी किसी भी सत्ता के विवरण में कणिकात्मक चित्र की जितनी आवश्यकता होती है उतनी ही तरगात्मक चित्र की भी। इसी तथ्य का एकर प्रारम्भ में बाह्य व सामने यह प्रश्न उपस्थित हुआ था कि जा दाना चित्र इतने भिन्न हैं और जिन्हें परस्पर विरोधी भी कहा जा सकता है उनका उपयोग एक ही समय में कैसे किया जा सकता है। तब उन्होंने मिद्ध किया कि त्रिया के क्वाटम व अस्तित्व के कारण जिन अनिश्चितता के अनुबन्धों का प्रादुर्भाव हुआ है व इन दोनों चित्रों का कभी भी प्रत्यक्षत विरोधी रूप में उपस्थित नहीं होना दन। प्रेक्षणा के द्वारा किसी एक चित्र को जितना ही अधिक स्पष्ट किया जाता है उतना ही अधिक अस्पष्ट दूसरा चित्र हो जाता है। जब इलैक्ट्रान का तरंगदैर्घ्य इतना सुनिर्णीत होता है कि वह स्वयं अपने ही आप में व्यतिकरण कर सके तब उस इलैक्ट्रान के स्थान का ठीक ठीक पता ही नहीं लग सकता और कणिकात्मक चित्र से उसकी जरा भी सम्मानता नहीं रहती। और इसके विपरीत जब इलैक्ट्रान का स्थान यथाथन निर्णीत होता है तब उसके व्यतिकरण गुण का लोप हो जाता है और तरगात्मक चित्र से उसका कर्तृ सम्बन्ध ही नहीं दियाई देता। कणिकात्मक गुण और तरगात्मक गुण का प्रत्यक्ष विरोध कभी नहीं होता क्योंकि एक ही समय दाना का अस्तित्व कभी नहीं रहता। हम कणिका और तरंग के युद्ध की बराबर प्रतीक्षा करते रहते हैं किन्तु वह युद्ध कभी होता ही नहीं क्योंकि सदैव दाना में स केवल एक ही प्रतिपक्षी उपस्थित रहता है। इलैक्ट्रान तथा भौतिक विज्ञान का अन्य मौलिक मताएँ सब ऐसा होता है कि जिनके दो रूप होते हैं जो परस्पर विरोधी तथा अमध्यग होते हैं फिर भी उनके समस्त गुणों की व्याख्या के लिए दाना ही रूपा का उत्तरात्तर उपयोग करना आवश्यक होता है। इनकी तुलना किसी वस्तु के दो पहलुओं से की जा सकती है जिनमें एक साथ देखना तो सम्भव नहीं होता किन्तु उन वस्तु का पूरा विवरण दन के लिए उत्तरात्तर दोनों ही पहलुओं का निरीक्षण जरूरी होता है। बाह्य ने इन दोनों रूपा का नाम परिपूरक रूप रखा है जिसका अर्थ यह है कि ये रूप एक-दूसरे तो परस्पर विरोधी हैं और दूसरी ओर प्रत्येक रूप दूसरे रूप की कभी पूर्ण करता है और ऐसा जान पड़ता है कि परिपूरकता की इस धारणा के सार भाग ने अब एक सच्चे दार्शनिक सिद्धान्त का महत्त्व प्राप्त कर लिया है।

याम्य में यह बात निम्न प्रकार भी सुस्पष्ट रहा है कि शिवा ना भौतिक गत्ता का बणा भरते एन ही नित्र के द्वारा या हमारे दुद्धि का सिमी एव हा धारणा के द्वारा हा मणता है। हम अपन दनित्र अनुमना क जात्रा पर अपने मानस नित्रा और धारणाभा का निमाण करा है। इस अनुभव में न ही हम कुछ आह्वितिया का छोट एन ह और यही न प्रारम्भ करके मरलीकरण और अपनपण^१ क द्वारा कुछ भगल नित्र कुछ स्पष्ट प्रतीत हानेवाली धारणाए बना ऐन ह और अन में दही के द्वारा घटाभा का मम समसने का प्रदेन कर्न है। मुनिगीत स्थान में अवस्थित कणिदा की तथा यथायत एव-यण तरंग की धारणाएँ भा इसा प्रकार क आदस चित्र है। किन्तु यह तमय है कि जा आदा बित्र हमारे मन में प्रदन सन्गीटत तथा अत्यन्त दृढ़ रूप में उत्पन्न हुए हैं और जिन्हें बाह्य आत्मीकरण^२ कहने ह उनके द्वारा वास्तविकता का यथायतापूर्वक निरूपण कभी भी नहीं किया जा सकता। अत वास्तविकता की जटिलता का बणन करने के लिए यह आवश्यक हा सकता है कि एव ही गत्ता क लिए दो या अनेक आत्म चित्रा का उत्तरातर उपयोग करना पड़े। कभी एव चित्र अधिक उपयुक्त होगा और कभी दूसरा। कभी-कभी पिछले अनुच्छेद की 'गुड' दगा में विचाराधीन सत्ता के बणन क लिए दाना चित्रा में से केवल एक ही यथायत उपयोगी होगा। किन्तु ऐसी रणाएँ असा धारणात विरल ही हागी। सामान्यत ता हमें दो आत्म चित्रा का सहारा लेना हा पड़ेगा।

यदि हम बाह्य की जटिल विचारधारा का ठीक-ठीक समझ सके हा ता य ही उन वस्तुत भौतिक विचारा में स कुछ है जो हम प्रतिभापूण भौतिकन क मस्तिक में क्वाटम भौतिकी द्वारा प्रेरित हुए थे। सम्भवत इन दानिक विचारा के उपयोग का क्षेत्र भौतिक विज्ञान की सीमाभा से बाहर भी विस्तारित करने का प्रयत्न किया जा सकता है। उदाहरण के लिए स्वयं बाह्य का अनुसरण करके हम यह जानन का प्रयत्न कर सकत है कि क्या परिपूरकता की धारणा के महत्वपूर्ण उपयोग जाव विज्ञान^३ में नहीं हो सकता और क्या उसमें हमें जीवन सम्बन्धी घटनाभा क भौतिक रासायनिक पहलुआ के तथा विशिष्टत जैव पहलुआ के द्वैत को समझने में सहायता रही मिल सकती? दूसरे विचार-क्षेत्र में हम इस बात की विवेचना भी कर सकते ह कि क्या सभी आदर्शिकरण एम नहीं होते कि जितनी ही अधिक पूणता उनमें

हानी है वास्तविकता के लिए व उनसे ही कम उपयोगी हो जान है। यद्यपि हमारी रचित विरासतों की ओर प्रियुक्त नहीं है तथापि उनमें के मन के प्रतिकूल हम यह मन भी प्रसन्न कर सकते हैं कि स्पष्ट और परिच्छिन्न धारणा में अधिक शक्ति जनन और वाइ चीज नही हो सकती। किन्तु इन भयंकर स्थान पर मन जाने में और भोतिर विनाश पर लोट जाने में ही बढिमानी है।

किन्तु हमें भी अधिक निश्चित बात यह है कि आकाश और काल सम्बन्धी हमारी प्रचलित मान्यताओं आपश्चितता के मिथ्यात्व द्वारा गंभीर परिवर्तन हो जाने पर भी पारमाणविक घटनाओं के वर्णन के लिए यथावत उपयुक्त नहीं है। हम पहले ही देन चुके हैं—मुख्यतः भूमिका में ही—कि प्रिया व स्वादम के अस्तित्व में ही ज्यामिति का गति विज्ञान के माध्यम एक पूर्णतः अनपेक्षित सम्बन्ध निहित है। भौतिक सत्ताओं का आकाश और काल के ज्यामितीय ढाँचे में अवस्थापन उन सत्ताओं की गत्यात्मक अवस्था के स्वतन्त्र प्रमाणित नहीं होता। इसमें सन्देह नहीं कि व्यापक आपश्चितता के मिथ्यात्व ने हमें यह बता दिया है कि दिक्-काल के स्थानीय लक्षण विश्व में द्रव्य के वितरण पर अत्यन्त महत्वपूर्ण हैं। किन्तु क्वांटमा के अस्तित्व के कारण दिक्-काल में जिस परिवर्तन की आवश्यकता है वह और भी अधिक गंभीर है और अब हम न तो किसी भौतिक वस्तु की गति का दिक्-काल में एक रेखा (विश्व रेखा) के द्वारा निरूपित हो कर सकते हैं और न हम काल-प्रवाह में उत्तरोत्तरवर्ती आकाशीय अवस्थापना को निरूपित करनेवाले वक्र के द्वारा उनकी गत्यात्मक अवस्था को ही निर्दिष्ट कर सकते हैं। अब तो हम गत्यात्मक अवस्था का त्रिकालीय अवस्थापना से व्युत्पन्न भी नहीं समर्थ बनते। उन्हे तो अब भौतिक वास्तविकता का एक स्वतन्त्र और परिपूरक पहलू समझने के लिए हमें धिक्का होना पड़ा है।

मचता यह है कि हमारे दैनिक अनुभव से आकाश और काल सम्बन्धी जिन धारणाओं का जन्म हुआ था वे केवल स्थूल मापदण्डीय घटनाओं के ही लिए सत्यता-पूर्ण हैं। अब उनके स्थान में अब मौलिक धारणाओं को प्रतिस्थापित करना आवश्यक हो गया है जो सूक्ष्म-स्तरों भौतिक विज्ञान के क्षेत्र में सत्यतापूर्ण प्रमाणित हो और जो ऐसी भी हो कि जब हम इन मौलिक घटनाओं से साधारण मापदण्डवादी प्रेक्षणीय घटनाओं में मग्न होकर तब अनन्तस्पर्शी रूप में वे पुनः हमारी आकाश और काल

सम्बन्धी मापारण धारणाओं में परिणत हो जायें। क्या यह भी कहने की आवश्यकता है कि यह काम अत्यन्त कठिन है? हमें तो इसमें बहुत सन्देह है कि कभी भी ऐसा संभव हो सकेगा कि जो हमारे नित्यप्रति के जीवन का मुख्य आधार है उसी को हम इस प्रयोग में से निकाल फेंकने में सफलता प्राप्त कर सकें। किन्तु विज्ञान का इतिहास मानव-बुद्धि की उत्कृष्ट सज्जन शक्ति का साक्षी है। अतः निराशा होने का कोई कारण नहीं है। किन्तु जब तक हम निर्दिष्ट दिशा में अपनी धारणाओं का प्रसार करने में सफलता प्राप्त नहीं कर लेते तब तक तो हमें यही प्रयत्न करते रहना होगा कि सूक्ष्म-स्तरीय घटनाओं का भी हम आकाश और बाल के ढाँचे में ही निरूपित कर सकें चाहे परिणाम कितना ही असाधन क्यों न हो और चाहे हमें भी क्या ही कष्टकर भावना का अनुभव करना पड़े जो उस कानीगर के मन में पड़ा होता है जिस किसी रत्न का ऐसे जेवर में जड़ना पड़े जिसमें दूसरे ही किसी बड़े या छोटे नग को बैठाने का स्थान पहले से बना हुआ हो।

६. क्या क्वांटम-भौतिकी अनियतिवादी हो रहेगी?

मेरे 'तरंग-यांत्रिकी के प्रारम्भ काल के व्यक्तिगत सम्मरण' शीर्षक लेख में जो "रेव द मेतर्फिजीक एंड मोराल" नामक पत्र में प्रकाशित हुआ था और जो बाद में मेरी पुस्तक 'भौतिकी तथा सूक्ष्म भौतिकी' में भी छाप दिया गया था, मन तरंग यांत्रिकी के निवचन के सम्बन्ध में उन मानसिक अवस्थाओं का वर्णन किया था जिनका १९२३ से १९२८ तक मुझे अनुभव हुआ था। उसमें मैंने यह स्पष्ट कर लिया था कि यद्यपि मैंने तरंग-यांत्रिकी के ऐसे रूप का विकास करने का बहुत प्रयत्न किया जो मूल और नियतिवादी हो और जिसका कम-से-कम स्थूल रूप से तो भौतिक विज्ञान की सनातन धारणाओं से सागर्य बना रहे। किन्तु जो कठिनाइयाँ का मुझे सामना करना पड़ा था और जो आपत्तियाँ उसके विरुद्ध उठायी गयी थी उनके कारण अन्त में मुझे भी बोझ और हताशजनक के अनियतिवादी तथा प्राथमिकतामूलक दृष्टिकोण का ही स्वीकार करना पड़ा। लगभग २५ वर्षों से लगावत उसी दृष्टिकोण पर मेरी श्रद्धा रही है और अपने अध्यापन में अपने व्याख्याता में और अपनी पुस्तकों में मैं उसी पर दृढ़ रहा हूँ। इसके अतिरिक्त अब तो लगभग सभी सद्धातिक भौतिकशास्त्र न भी इसी दृष्टिकोण को स्वीकार कर

लिया ह। १९५१ में मुझे अमेरिका के युवा भौतिकज्ञ श्री डेविड बोह्र^१ का एक मनीषण व्यक्तिगत पत्र मिला जिसमें मुझे उनमें उमर लेख का पता लगा जो फिजिकल रिव्यू^२ के १५ जनवरी, १९५२ के अंक में प्रकाशित हुआ था। इस लेख में श्री बोह्र ने मेरी १९२७ की धारणाओं को—कम से कम मर ही दिये हुए एक विशिष्ट रूप में—पूणत स्वीकार कर लिया था और उनमें जो कमी कई बातों के सम्बन्ध में थी, उस रोचक ढंग से पूरा कर दिया था। इसके बाद जे० पी० विजियर^३ ने मेरा ध्यान उन दोना उपपत्तियों^४ की समानता की ओर आकर्षित किया—एक तो वह जो जाइन्स्टाइन ने व्यापक आपक्षिकतावाद में, कणा की गति के सम्बन्ध में, प्रस्तुत की थी और दूसरी वह जो मैंने १९२७ में अपनी द्वि साधन सिद्धांत^५ नामक परिवर्तना में सबथा स्वतन्त्र रूप से प्रस्तुत की थी। इन सब बातों के कारण मेरा ध्यान इन समस्याओं की ओर फिर से आकर्षित हुआ ह और यद्यपि अब भी मैं यह कहने को राजी नहीं हूँ कि मेरा उन समय की धारणाओं के आधार पर तरंग यांत्रिकी में नियतिवाद का फिर से प्रतिष्ठित कर देना सम्भव है तथापि मैं समझता हूँ कि यह प्रश्न पुन विचार करने योग्य ह। किन्तु हमें समस्त पूर्वत कल्पित दाशनिष^६ धारणाओं से सतर्क रहना चाहिए और केवल इतना ही जानने का प्रयत्न करना चाहिए कि क्या इस मांग से भी सुनिर्णीत तथ्यों का कोई पूर्वापर विरोधहीन निवचन प्राप्त हो सकता ह।

१९२० के लगभग जब मैं लम्बी युद्ध-संघर्ष के बाद पुन वैज्ञानिक अनुसंधान में प्रवृत्त हुआ उस समय स्थिति निम्नलिखित प्रकार की थी। एक ओर तो फाटाना का अस्तित्व निश्चित ही जान पड़ता था और काम्पटन प्रभाव^७ तथा रामन प्रभाव^८ के आविष्कारों के द्वारा इसका नवीन ममयन भी मिलने ही वाला था। किन्तु फाटान की परिभाषा में उपस्थित जावति का निविष्ट करने के लिए तथा व्यतिकरण तथा विवर्तन की सम्प्रस्त घटनाओं की व्याख्या करने के लिए तरंग सिद्धान्त की आवश्यकता ने यह भी प्रमाणित कर दिया था कि प्रमाण के तर्ग कणिका-द्वय का प्रकट करनेवाला मश्लेपात्मक^९ दृष्टिवाण भी अनिवार्य ह। दूसरी ओर सूक्ष्म मापदंडीय क्षेत्र में कणिकाओं की क्वांटम गति व अस्तित्व में इलक्ट्रॉनों तथा अन्य द्रव्य-कणिकाओं के लिए भी तरंग-कणिका-द्वय की धारणा

1 David Bohm 2 Physical Review 3 J I Vigier 4 Demonstrations 5 Theory of Double Solution 6 Compton effect 7 Raman effect 8 Synthetic

या प्रादुर्भाव होता है। अब मुझे तो स्पष्टन जिमी नेमे सन्देश की आवश्यकता प्रतीत हुई जा द्रव्य तथा प्रकाश दाता के ही लिए अनुप्राय्य हो जोर क्रिममें बहि भयत ग्रथित तरंगमय और कणिकामय पण एम सूत्रा के द्वारा संबद्ध हो जिनमें पण्य या नियताव आवश्यक रूप में विद्यमान रहे।

यह यही सम्पण है जिसका बीज मने उन टिप्पणिया में प्रस्तुत किया था जा १९२३ की गण्य क्रतु के प्रारम्भ में एवेडमी आफ सांसेज की 'कात राग' नामा पत्रिका में प्रकट हुई था और जिनका अधिक पूण रूप मने डाक्टर का उपाधि के लिए नवम्बर १९२८ में निवेदित अपने अनुसंधान प्रग्य^१ में सम्मिलित कर दिया था। आपक्षिकीय विचारधारा की तथा गत गताली में हर्मिल्टन द्वारा विवसित विचारधारा की अनुप्रेरणा मे मुझे कणिका की गति के साथ ऐसी तरंग के प्रचरण का सम्बन्ध स्थापित करने में सफलता मिल गयी थी जिसकी आवृत्ति और तरंग-दैर्घ्य के साथ उम कणिका के ऊर्जा और सवेग का सम्बन्ध व्यक्त कर-वाले सूत्रा में नियताव^२ निविष्ट था (दक्षिण परिच्छेद ८, खण्ड २) और मने यह सिद्ध कर दिया कि इस उपाय से हम पारमाणविक इलेक्ट्राना की क्वांटमित गत के अस्तित्व का कारण समझ सकते हैं। विशेष विस्तार में प्रवेग^३ न करके मैं केवल निम्नलिखित बात पर ही जोर देना चाहता हूँ। किसी बल-क्षेत्र के अभाव में कणिका की सरल रेखात्मक और अचर कणिकाली गति का सम्बन्ध मन एक ऐसी समतल एक-वर्ण तरंग के प्रचरण के साथ स्थापित कर दिया जा कणिका की गति की ही दिशा में प्रगामी हो जिसका आयाम अपरिवर्ती हो और जिसकी कला ψ , ϕ , χ के एकघाती व्यंजक द्वारा व्यक्त हो सके। और चूँकि कणिका की ऊर्जा और सवेग का सम्बन्ध तरंग के आवृत्ति तथा तरंग-दैर्घ्य के साथ स्थापित किया गया था इसलिए मैंने कणिका की गति की अवस्था को तरंग की कला^४ से सम्बद्ध कर दिया। किन्तु अब प्रश्न यह था कि तरंग में इस तथ्य का सम्बन्ध किस बात से जाड़ा जाय कि आकाश में कणिका का स्थान पूणत निश्चित होता है। इस समस्या का समाधान कठिन है क्योंकि जिस एक-वर्ण समतल तरंग का आयाम आकाश में सबत्र बराबर हो उसमें किसी ऐसे विशेष गुण-सम्पन्न बिन्दु की कल्पना नहीं हो सकती जिम पर कणिका प्रतिक्षण अवस्थित समझी जा सके। इस कठिनाई ने तथा अन्य कई आपक्षिकीय आपत्तिया ने जिनका वर्णन यहाँ आवश्यक नहीं है मुझे यह विचार

के लिए विवग कर दिया कि एक-वर्ण भ्रमर तरंग की बला का ता बाई भौतिक जय हो सकता है किन्तु इस तरंग के अपरिवर्ती आयाम का क्या जय नहीं हो सकता, क्याकि आकाश में आयाम का मान सदा बराबर हान में ता जिना प्रमाण के ही यह प्रत्यक्ष हो जायगा कि कणिका के पाये जाने की प्राथिकता आकाश के सभी बिंदुओं के लिए बराबर है। उस समय मुझे इसमें तनिक भी संदेह नहीं था कि प्रतिक्षण कणिका का कोई-न-कोई निश्चित स्थान तो होता ही है अतः मेरे विचार से आयाम का अर्थ केवल प्राथिकता मूलक ही हो सकता है और कणिका का यथावत स्थान आयाम के द्वारा निरूपित नहीं हो सकता। इसी लिए जिस तरंग की मैंने कल्पना की थी उसका नाम मैंने बला-तरंग^१ रखा था ताकि यह बात स्पष्ट हो जाय कि मेरे विचार में वस्तुतः इस तरंग की बला का ही कुछ भौतिक अर्थ हो सकता है। नवम्बर १९२४ में जब मैं अपना अनुसंधान प्रबंध निबन्ध दिया था, तब मैं लेकर भौतिक विज्ञान की पाँचवीं सालवे काग्रेस की बैठक के समय (जून १९२७) तब स्वभावतः ही मैं तरंग-यात्रिकी के विज्ञान की सभी उत्तरात्तरवर्ती स्थितियों का अत्यन्त मनोनिवेशपूर्वक अध्ययन करता रहा था। किन्तु इस नवीन सिद्धान्त की वर्धमान प्रतियाओं^२ के भौतिक अर्थ की तथा तरंग-कणिकामय द्वैत के वास्तविक मर्म की समस्या मुझे बराबर उद्दिग्भ करती रही। जहाँ तक मुझे पता है इस द्वैत समस्या के तीन संभव समाधान प्रस्तुत किये गये हैं। जिस समाधान की तरफ थॉडिगर का झुकाव मदद रहा वह था यह था कि कणिकाओं के अस्तित्व का ही निषेध करके द्वैत की वास्तविकता ही नष्ट कर दी जाय। तब केवल तरंग का ही कुछ भौतिक अर्थ रह जायगा जो चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त की तरंग के सदृश ही होगा। कुछ विरोध दगाओं में तरंगों के प्रचरण से ही कणिकाओं-जसा रूप दिखाई देगा। किन्तु वह केवल आभास मात्र ही होगा। प्रारम्भ में तो थॉडिगर ने अपने विचारों में सुनिश्चितता लाने के लिए कणिका की तुलना छाटो-मी तरंग माला^३ से करना चाहा। किन्तु यह तुलना ठीक नहीं बैठती क्योंकि तरंग माला की प्रवृत्ति ऐसी होती है कि उसकी लम्बाई निरन्तर प्राप्तापूर्वक बढ़ती जाती है। अतः उसके द्वारा चिरस्थायी कणिका का निरूपण नहीं हो सकता। यद्यपि ऐसा जान पड़ता है कि कुछ इसी प्रकार के निवचन में थॉडिगर का विश्वास अब भी है किन्तु मैं तो इस स्वीकार करने के योग्य नहीं समझता। और मेरा विश्वास तो यही है कि तरंग-कणिकामय

द्वैत को भौतिक तथ्य के रूप में मानना ही पड़ेगा। जिन दो अर्थ समाधानों का मन ऊपर जिक्र किया था वे दोनों ही इस द्वैत का वास्तविक मानने हैं, किन्तु दोनों का दृष्टिकोण सत्यता भिन्न है।

इन समाधानों में से प्रथम में मेरा विद्वांस १९२८ तक बना रहा। इसमें तरंग-कणिकामय द्वैत को भौतिक विज्ञान की पुरातन धारणाओं में मुमकिन तथा मूलरूप देने के लिए यह धारणा बनायी गयी कि दीर्घ विस्तृत तरंग में बीच में उपस्थित किसी प्रकार की विचित्रता का ही नाम कणिका है और इस विचित्रता के स्थान को ही उस कणिका का स्थान समझना चाहिए। यहाँ कठिनाई यह समझने में है कि प्रकाश के चिरप्रतिष्ठित सिद्धांत में जमी सतत तरंगों का उपयोग होता था, उन्हीं प्रकार की विचित्रताहीन सतत तरंगों का उपयोग तरंग-यान्त्रिकी में क्या किया जाता है। मैं अभी थोड़ी देर में बताऊँगा कि इस दृष्टिकोण का विकास मने किस रूप में किया था।

तरंग-कणिकामय द्वैत का द्वितीय समाधान यह है कि कणिका की और सतत तरंगों की धारणाओं का "वास्तविकता के दो परिपूरक पक्ष" ही मान लेना चाहिए—उसी अर्थ में जिसमें बोह्र ने इन शब्दों का व्यवहार किया था (दखिए परिच्छेद १०, खंड १ और ४)।

१९२४ में अपना अनुसंधान प्रबंध निवेदित करने से पहले मैं चिरप्रतिष्ठित भौतिकी की धारणाओं से पृथक् अभिगृहीत था और मैंने अपन नवीन विचारों के निबन्धन को उन्हीं धारणाओं के ढाँचे में अर्थात् स्थान विन्यासों और गतियों के द्वारा घटनाओं के निरूपण के कार्तीय ढाँचे में ढालना चाहा था। मुझे यह बात असंग्रह जान पड़ती थी कि प्रतिक्षण कणिका का आकाश में कोई-न-कोई निश्चित स्थान और कुछ-न-कुछ निश्चित वेग अवश्य ही होता है और इस कारण काल के प्रवाह में उनका कोई-न-कोई निश्चित गमन-मार्ग भी अवश्य ही होता है। किन्तु साथ ही मेरा यह भाव दृढ़ विश्वास था कि इसका सम्बन्ध किसी ऐसी आवृत्ति तथा तरंगमय घटना से भी अवश्य है जिसके आवृत्ति और तरंग-दैर्घ्य निर्धारित किये जा सकते हैं। अतः यह बिल्कुल स्वाभाविक था कि मेरे मन में इस कल्पना का जन्म होता कि दीर्घ विस्तृत-तरंगमय घटना के बीच में कणिका एक प्रकार की विचित्रता मात्र है और इन दोनों के सम्मेलन

से ही भौतिक वास्तविकता का निमाण होता है। जिस तरंगमय घटना के क्षेत्र में यह विचित्रता अवस्थित होती है उसी के परिणाम में इस विचित्रता की गति का सम्बन्ध होता है। अतः उस तरंग को अपने प्रचरण में जिन परिस्थितियों का सामना करना पड़ेगा उही सब पर उस विलक्षणता की गति भी अवलम्बित होगी। यही कारण है कि कणिका की गति चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी के नियमों का पालन नहीं करेगी क्योंकि वह तो शुद्ध बिन्दु-यांत्रिकी^१ है अर्थात् उसमें कणिका पर केवल उही बल का प्रभाव पड़ता है जो उसके गमन पथ में उस पर लगते रहते हैं और उस गमन-पथ से बहुत दूर अवस्थित अवरोधों^२ का उसकी गति पर कुछ भी असर नहीं होता। किन्तु इसके विपरीत मरी धारणा के अनुसार उस विचित्रता की गति पर उन सब अवरोधों का भी प्रभाव पड़ेगा जिनका प्रभाव उसमें सलग्न तरंग के प्रचरण पर पड़ता है। फलतः व्यतिकरण और विवर्तन की घटनाओं के अस्तित्व की भी 'वास्तवता' हो जायेगी।

किन्तु फिर भी कठिनाई यह सम्बन्धों में है कि तरंग-यांत्रिकी का विकास प्रचरण समीकरणों के विचित्रता विहीन सतत हल^३ की ही सहायता से क्या हुआ है। ये ही हल साधारणतः ग्रीक अक्षर ψ के द्वारा व्यक्त किये जाते हैं। मैं पहले ही कह चुका हूँ कि जड़ मने एक वण समतल ψ -तरंग के प्रचरण का सम्बन्ध कणिका की सरल रेखात्मक अवर-वेगीय गति से जोड़ा था, तब मुझे इसी कठिनाई का सामना करना पड़ा था कि कणिका की आनुपमिक तरंग के आवृत्ति और तरंग-दैर्घ्य जिस तरंग बल के द्वारा निर्दिष्ट होता है उसमें तो प्रत्यक्ष भौतिक वास्तविकता है, किन्तु मेरी दृष्टि में उस तरंग का अपरिवर्ती आयाम कणिका के सम्भव स्थानों का केवल सांख्यिकीय निरूपण ही हो सकता है। यह एक^४ और सांख्यिकीय का मिश्रण ही मुझे व्यथित कर रहा था और इसी का स्पष्टीकरण मुझे अत्यन्त आवश्यक प्रतीत होता था।

इस विषय में मरी जा टिप्पणियाँ १९२४ से १९२७ तक प्रकाशित हुई थीं उन्हें देखने से पता लग जायेगा कि किस प्रकार धीरे-धीरे मरी विचार धारा उन सिद्धान्तों की ओर झुकी जिने मने उस समय 'द्वि-माघन सिद्धान्त' का नाम दिया था। मने इस सिद्धान्त का पूरा विवरण 'जूरनल दे फिज़ीक' के जून १९२७ के अंक (भाग ८ १९२७ पृष्ठ २२५) में प्रकाशित किया था और इस प्रश्न के सम्बन्ध में पूरा चिन्तन इस समय केवल इसी लेख में उपलब्ध है। इस लेख में मने साह्म करके इस अविभाज्य नियम का

प्रतिपादित किया था कि तरंग-यात्रिकी के समीकरणों के प्रत्येक मूल ψ के साथ ही-साथ किसी अज्ञात नियम के अनुसार एक द्वितीय मूल μ भी विद्यमान रहता है जो विचित्रता-युक्त होता है और μ की तथा ψ की कलाएँ समान होती हैं। सामान्यतः यह विचित्रता (कणिका) अचल नहीं रहती। दोनों ही मूल ψ तथा μ तरंग रूपी होते हैं और दोनों की ही कला x, y, z, t के एक ही फलन के द्वारा निरूपित होती हैं किन्तु दोनों के आयाम सबथा भिन्न रहते हैं क्योंकि μ के आयाम में तो विचित्रता विद्यमान होती है, किन्तु ψ का आयाम सतत रहता है। μ तथा ψ दोनों के प्रचरण-समीकरणों को एक ही मानकर और उसी से प्रारम्भ करके मैंने निम्नलिखित मूल प्रमेय को सिद्ध कर दिया। "काल के प्रवाह में μ की गतिशील विचित्रता ऐसे गमन-मार्ग पर चलती है जिसके प्रत्येक बिन्दु पर उभय विचित्रता का वेग कला की प्रवणता¹ का अनुपात होता है।" यह कहा जा सकता है कि इस प्रकार तरंग की वे-द्रव्य विचित्रता पर तरंग प्रचरण की प्रतिक्रिया इस समस्या में निविष्ट हो जाती है। मैंने यह भी प्रमाणित कर दिया था कि इस कणिकारूपी विचित्रता को एक क्वांटम विभव के अधीन समझ लेने से यह प्रतिनियम व्यक्त की जा सकती है। अस्तुतः यह क्वांटम विभव तरंग की स्वयं अपने ही पर होनेवाली प्रतिक्रिया का गणितीय व्यञ्जक है। इस प्रकार मैंने प्रकाश के प्राचीन कणिका सिद्धान्त के भ्रमशका की उस धारणा का स्वीकार कर लिया था जिसमें यह माना जाता था कि किसी अवरोध की वारं स प्रकाश का जो विवर्तन होता है उसमें इस अवरोध का किनारा प्रकाश की कणिका पर कुछ प्रति क्रिया करता है और इसी कारण वह कणिका अपने सरल रेखात्मक पथ में विचलित हो जाती है।

और यदि गतिशील विचित्रतायुक्त μ -तरंग ही कणिका का और उसके चारों ओर की तरंगमय घटना का निरूपण कर देती है तब फिर ψ -तरंग का क्या अर्थ था ? मेरे लिए तो उसकी भौतिक साक्ष्यता कुछ भी नहीं थी क्योंकि वास्तविकता को तो μ -तरंग ही व्यक्त करती है। किन्तु यह बताया जा चुका है कि ψ -तरंग का कला μ -तरंग की कला से अभिन्न होती है और कणिकारूपी विचित्रता सदा इस वेग की प्रवणता की दिशा में ही गमन करती है। अतः कणिका के सम्भव गमनमार्ग ψ के सम-वर्तीय पृष्ठों² पर अभिलम्बित³ बना के मपाती⁴ होगी और तब मैंने सरलतापूर्वक यह भा

1 Gradient of phase 2 Quantum potential 3 Expression 4 Surfaces of equal phase 5 Orthogonal 6 Coincident

प्रतिपादन किया था कि तरंग-यात्रिकी के समीकरणों के प्रत्येक सतत हल ψ के साथ ही-साथ किसी ज्ञात नियम के अनुसार एक द्वितीय हल μ भी विद्यमान रहता है जो विचित्रता-युक्त होता है और μ की तथा ψ की कलाएँ समान होती हैं। सामान्यतः यह विचित्रता (कणिका) अचल नहीं होती। दोनों ही हल ψ तथा μ तरंग रूपी होते हैं और दोनों की ही कला x, y, z, t के एक ही फलन के द्वारा निरूपित होती हैं। किन्तु दोनों के आयाम संभवतः भिन्न होते हैं क्योंकि μ के आयाम में ता विचित्रता विद्यमान होती है, किन्तु ψ का आयाम सतत होता है। μ तथा ψ दोनों के प्रचरण-समीकरणों को एक ही मानकर और उसी से प्रारम्भ करके मैंने निम्नलिखित मूल प्रमेय को सिद्ध कर दिया। “काल के प्रवाह में μ की गतिशील विचित्रता ऐसे गमन पथ पर चलती है जिसके प्रत्येक बिन्दु पर उस विचित्रता का वर्ग कला की प्रवणता¹ का अनुपात होता है।” यह कहा जा सकता है कि इस प्रकार तरंग की वे-द्रव्य विचित्रता पर तरंग प्रचरण की प्रतिक्रिया इस समस्या में निविष्ट हो जाती है। मैंने यह भी प्रमाणित कर दिया था कि इस कणिकारूपी विचित्रता का एक क्वांटम विभव² के अधीन समान लेने में यह प्रतिक्रिया व्यक्त की जा सकती है। वस्तुतः यह क्वांटम विभव तरंग का स्वयं अपने ही पर होनेवाली प्रतिक्रिया का गणितीय व्यञ्जक³ है। इस प्रकार मैंने प्रकाश के प्राचीन कणिका सिद्धान्त के समर्थकों की उस धारणा को स्वीकार कर लिया था जिसमें यह माना जाता था कि किसी अवरोध की कोर से प्रकाश का जो विवर्तन होता है उसमें इस अवरोध का किनारा प्रकाश की कणिका पर कुछ प्रतिक्रिया करता है और इसी कारण वह कणिका अपने सरल रेखारमक पथ में विचलित हो जाती है।

और यदि गतिशील विचित्रतायुक्त μ -तरंग ही कणिका का और उसके चारों ओर की तरंगमय घटना का निरूपण कर देती है तब फिर ψ -तरंग का क्या अर्थ था? मेरे लिए तो उसकी भौतिक मायकता कुछ भी नहीं थी क्योंकि वास्तविकता का ता μ -तरंग ही व्यक्त करती है। किन्तु यह बताया जा चुका है कि ψ -तरंग का वर्ग μ -तरंग की कला में अभिन्न होती है और कणिकारूपी विचित्रता सदा इस कला की प्रवणता की दिशा में ही गमन करती है। अतः कणिका के संभव गमनपथ ψ व सम कलीय पृष्ठा⁴ पर अभिलम्बित⁵ बना के मपाती⁶ होगी और तब मने सरलतापूर्वक यह भा

1 Gradient of phase 2 Quantum potential 3 Expression 4 Surfaces of equal phase 5 Orthogonal 6 Coincident

प्रमाणित कर दिया कि इसी बात के आधार पर हमें यह मानना पड़ेगा कि कणिका को किसी बिंदु पर पाने की प्राथिकता ψ -तरंग के आयाम के वर्ग की अथवा उस तरंग की तीव्रता की अनुपानी होती है।

तरंग-यांत्रिकी के इसी गूढ़ और विचित्र निबचन का मन १९२७ में प्रतिपादन किया था। किंतु मुझे यह समझने में भी देर नहीं लगी कि उसका तब-भगत प्रमाणित करने में अत्यन्त विकट गणितीय कठिनाइयाँ उपस्थित होंगी। क्योंकि पहले तो यही प्रमाणित करना आवश्यक था कि तरंग-यांत्रिकी में जिम सुनिर्दिष्ट समस्या के सीमांत प्रतिबंध^१ नात हा और जिसका ψ -जाति का हल भी ज्ञात हा उसका दूसरा भी एक हल होता ह जा गतिशील विचित्रतायुक्त और μ -जाति का होता है। यह भी आवश्यक था कि व्यतिकरण की घटनाओं के सिद्धांत का पुनर्गठन ऐसा किया जाय जिसमें केवल विचित्रतायुक्त μ -तरंग का ही उपयोग हो क्योंकि उसी में भौतिक वास्तविकता होती है और सतत तरंग का महारा बिलकुल भी न लिया जाय क्योंकि उसे अब हम काल्पनिक समझने हैं। और कणिका निकाला के लिए थोडिंगर ने बियामाकाश^२ के ढांचे में जिन तरंग-यांत्रिकी का निमाण किया था उसका निबचन भी अब μ -तरंगों के द्वारा ही करना जरूरी था। किंतु मुझमें इतनी क्षमता नहीं थी कि ऐसी कठिन गणितीय समस्याओं की सीमांता कर लेता जिनके लिए विचित्रतायुक्त हल का दु साध्य अध्ययन आवश्यक था।

अब मैंने अपने १९२७ के विचारा का पुनः परीक्षण किया ह और इससे मैं μ -तरंग की परिभाषा में कुछ परिवर्तन कर सका हूँ। १९२७ में तो मैंने इस तरंग-यांत्रिकी की ψ -तरंग के लिए स्वीकृत रैखिक समीकरणों का ही विचित्रतायुक्त हल समझा था। किंतु कई कारणों से विशेषकर व्यापक आपेक्षिकतावाद से तुलना करने पर (जिसका जिक्र मैं आगे करूँगा) मेरे मन में यह विचार उत्पन्न हुआ कि संभवतः μ -तरंग के यथाय प्रचरण-समीकरण जाइस्टाइन के गुरुत्वाकर्षण सिद्धांत के समीकरणों के ही समान रखे जा सकते हैं। किंतु जब μ का मान पर्याप्त रूप से छोटा हा तब वे तरंग-यांत्रिकी के रैखिक समीकरणों का सन्निकटित रूप ग्रहण कर लेते हैं। यदि यह दृष्टिकोण सही हा तो यह भी माना जा सकता ह कि μ -तरंग में कोई गतिशील विचित्रता (इस शब्द के शुद्ध अर्थ में) हाती ही नहीं। उसमें केवल एक अत्यंत छोटा-सा (निम्न-दह ही १०^{-१०} मी की काटि के मान का) विचित्रतायुक्त गतिशील प्रदंश होता ह जिसके

भीतर μ का मान इतना बड़ा रहता है कि वहाँ रजित सन्निकटन माय नही ममया जा सक्ता, किन्तु इन छाने-से प्रदश मे बाहर वह सन्निकटन तब भी माय ही रहता है। दुभाग्यवश, दृष्टिवाण का यह परिवर्तन भी उन गणितीय समस्याओं का समाधान करने में सहायक नहीं हुआ जा अब भी हमारे सामने विद्यमान थी क्याकि यदि रजिक समीकरणों के विचित्रतायुक्त हल का साधन बहुधा कठिन होता है तो अरजिक समीकरणों के हल का साधन तो और भी अधिक कठिन होता है।

अब फिर जरा १९२७ पर लौट आइए। उस वसन्त में लॉरेंटज^१ ने मुझसे कहा कि अगले अक्टूबर में ब्रिस्ल में होनेवाली भौतिक विज्ञान की पाचवी सालवे कांग्रेस के लिए तरंग-यांत्रिकी के विषय में एक रिपोर्ट तैयार कर दो। तब यह दृक्तर कि द्वि-साधन^२ के विषय में मेरे विचार गणितीय प्रकृष्टता^३ अथवा दृढ नियमितता का दृष्टि से मधेष्टता सातपजनक नहीं थे और उनका स्पष्टत व्यक्त करने में मुझे अनेक कठिनाइयाँ का सामना करना पड़ेगा, मने उस सरलतर दृष्टिकोण का आश्रय लेने का निश्चय किया जिसकी सभावना की जार मैंने अपने 'जूरनाल-दे फिजिक' वाले लेख के अन्त में इंगित किया था। उस समय मेरी धारणा यह थी कि ϕ तथा μ ज्ञान के हल की समान कला की प्रवणता के द्वारा ही कणिका की गति निर्धारित होता है और ममस्त घटना इस प्रकार घटती है मानो सतत ϕ -तरंग ही उस कणिका का पथ प्रदर्शन^४ करती है। इसलिए मेरे विचार में यह जाया कि इस समस्या के लिए निम्न लिखित दृष्टिकोण भी उपयुक्त हो सकता है। 'कणिका का अस्तित्व एक स्वतन्त्र सत्ता के रूप में स्वीकार कर ला और यह मान लो कि उसका पथ प्रदान ϕ -तरंग इस सूत्र के अनुसार करती है कि कणिका का वग सदा ϕ -का कला की प्रवणता का अनुपाती रहता है।' समस्या के इस प्रकार प्रस्तुत करने की विधि को मने 'नाविक-तरंग सिद्धान्त'^५ का जय-बोधक नाम दे दिया था और इसी का मैंने अपनी रिपोर्ट में विस्तृत विवेचन किया था। यह पाचवी सालवे कांग्रेस के सक्षिप्त विवरण में प्रकाशित हुआ था। उस समय में यह नहीं समझ सका कि इस प्रकार के तर्क का सहारा लेकर मने अपने ही पक्ष को बहुत निज़ल बना दिया है। वस्तुतः यद्यपि द्वि-साधन की परिवर्तना का गणितीय समथन कठिन है तथापि यदि सफलता मिल जाय तो वह द्रव्य की संरचना का तथा कणिका-तरंग मय द्वैत का गभीर समीक्षण प्रस्तुत करने में समथ हो सकेगा और, जसा कि हम दक्खे सभवत उसके द्वारा क्वांटम धारणाओं और आपेक्षिकीय

है। और गणितीय कठिनाइयाँ के कारण यह भी माहम नहीं हुआ कि पुनः द्वि-साधन का अनुमरण करें। अतः निराश होकर मैं भी वोल्ह और हाइज़नबर्ग के शुद्ध प्रायिकता मूलक निवचन का पक्षपाती बन गया।

पच्चीस वर्षों से लगभग सभी भौतिकज्ञ बाह्य और हाइज़नबर्ग के इस शुद्ध प्रायिकता मूलक निवचन के ही पक्ष में हैं। किन्तु आइन्स्टाइन और थोडिगर के समान कुछ विम्व्याप्त भौतिकज्ञ इसके स्मरणीय विरोधी भी हैं। ये इसे स्वीकार करने के लिए कभी राजी नहीं हुए और बराबर उसके विरुद्ध प्रबल आपत्तियाँ उठाते रहे हैं। १९२७ की सॉलवे कांग्रेस में आइन्स्टाइन ने निम्नलिखित आपत्ति उठायी थी। मान लो कि एक चपटे परदे में एक छोटा सा छिद्र है और हम पर कोई कणिका अपनी जानुपगिक तरंग के साथ अभिलम्बित आपतित होती है। ψ -तरंग का छेद में से विवर्तित होकर परदे के दूसरी ओर अपसारी^१ गोलीय तरंग का रूप प्राप्त कर लेगी। यदि परदे के पीछे एक अर्धगोलाकार फिल्म रख दी जाय तो हम अध-गोल के किसी भी बिन्दु पर कणिका की उपस्थिति फोटोग्राफिक प्रिया द्वारा अंकित हो जायगी। इस बात से सभी सहमत हैं कि तरंग-मानिकी के नियमानुसार ψ पर कणिका की उपस्थिति की प्रायिकता ψ^2 -तरंग के आयाम के वर्ग द्वारा निर्धारित होती है। यदि प्रत्येक क्षण पर उस कणिका की उपस्थिति किसी-न किसी बिन्दु पर वास्तव में रहती हो तो (अव्यक्त चरों के द्वारा) हम उसके गमन-पथ अवश्य ही निर्धारित कर सकेंगे। अतः हम यह आसानी से समझ सकते हैं कि उस कणिका का गमन-पथ अज्ञात होने का परिणाम यह होगा कि हम केवल इतना ही बता सकेंगे कि फिल्म के किसी एक बिन्दु में से गमन-पथ के गुजरने की प्रायिकता कितनी है। किन्तु ψ पर कणिका की जा फोटोग्राफिक प्रिया होती है वह यह बात प्रमाणित करती है कि उस कणिका का गमन-पथ ψ में से अवश्य गुजरा था। और इस सूचना के मिलने ही फिल्म के अन्त बिन्दुओं में से गमन-पथ के गुजरने की प्रायिकता शून्य हो जायगी। इस घटना की यही सीधी-सादी व्याख्या है। किन्तु जो व्याख्या शुद्ध प्रायिकता-मूलक निवचन द्वारा प्राप्त होगी उससे यह सबका भिन्न है। उस निवचन के अनुसार फोटोग्राफिक अवन से पहले कणिका परदे के पीछे के प्रदेश के सभी बिन्दुओं पर समान रूप में विद्यमान^१ रहती है और उसकी उपस्थिति की प्रायिकता ψ^2 -तरंग के आयाम के वर्ग के बराबर होती है। ψ पर फोटोग्राफिक अवन होने ही कणिका का स्थान ψ पर निश्चिन हो जाना है या या कहना चाहिए कि वह ψ

र गणित^१ हा जानी ह और उगी क्षण फिल्म व किमी नी जय विदु पर बणिवा
 ती उपस्थिति की प्रायिकता घटकर शून्य हो जाता है । जब आइन्स्टाइन ने कहा यह
 था कि इस प्रकार का निराल आकाश और वायु सम्बन्धी हमारी समस्त धारणाओं से
 (उनके आश्चर्यचकित निरालात्मक रूप में भी) तथा आकाश में भीतर प्रियाओं के
 प्रचरण-क्षेत्र के परिमित शास्त्री की धारणा में भी असंगत है । यह वह दना काफी नहीं है
 कि हमारे स्थूल स्तरीय अनुभव से निर्मित आकाश और वायु सम्बन्धी धारणाएँ पारमाण-
 विज्ञान स्तर पर नहीं रहती होंगी । वास्तव में फिल्म का विस्तार ता स्थूलस्तरीय ही है
 (जिसका क्षेत्रफल एक घन मीटर भी हो सकता है) । अब इसमें स्थूल मापदण्डीय स्तर
 पर भी ता हमारी आकाश और वायु सम्बन्धी धारणाएँ अपमान्य प्रमाणित हो जायेंगी ।
 किन्तु इन बातों में विज्ञान परना ता वास्तव में बहिन मायूम होता है । आइन्स्टाइन
 की इस आपत्ति का जहाँ तक मुझे मायूम है रिमी ने भी मतापजनक उत्तर नहीं दिया
 है । हमने अतिरिक्त श्राद्धिगत न भी कुछ और बातें प्रस्तुत की हैं और स्वयं आइन्स्टाइन
 ने भी एक और आपत्ति पारस्परिक प्रिया^२ के सम्बन्ध में उठायी है । इन सब तर्कों का
 निवरण कहा नहीं किया जा सकता । मैं केवल इतना ही कहूँगा कि आइन्स्टाइन की
 १९२७ वाली आपत्ति की ही तरह इनमें भी विरोधाभासी^३ परिणाम निकलते हैं और
 आकाश (दिक्) और काल सम्बन्धी हमारी पूर्ववर्ती धारणाओं की सत्यता में स्थूल
 स्तरीय क्षेत्र में भी सन्देह होने लगता है ।

जब कुछ महीने हुए बाह्य^४ का वह लेख प्रकाशित हुआ जिसका उल्लेख मैं इस
 खंड के प्रारम्भ में कर चुका हूँ तब इस समस्या की यही स्थिति थी और पिछले पच्चीस
 वर्षों में इसमें प्रायः कुछ भी परिवर्तन नहीं हुआ है । इस लेख में काइ भी बात तत्त्वतः
 नयी नहीं थी बल्कि उन्होंने केवल उसी नाविक-तरंग सिद्धान्त का पुनः प्रतिपादन किया
 था जिसका मैं सालों बाद में पहले ही प्रस्तुत कर चुका था और जिसमें द्वि माधन
 का परिकल्पनावाली विचित्रता-युक्त μ -तरंग के स्थान में प्रायिकतामूलक ψ -तरंग
 का उपयोग हान के कारण अनेक ऐसी बहिनारिया उपस्थित होती थी जो मुझे दुर्लभ
 जान पड़ती थी । फिर भी इन प्रश्नों की ओर पुनः ध्यान जावपित करने के अतिरिक्त
 उन्हें इस बात का भी श्रेय है कि उन्होंने इस सम्बन्ध में कई अत्यन्त रोचक बातें लिखी
 थी और विशेषकर उन्होंने आपने की प्रक्रियाओं का नाविक-तरंग के दृष्टिकोण से ऐसा
 विश्लेषण किया था जिसमें उन आपत्तियों का निराकरण हो जाने की सम्भावना दिव्याई

देने लगी थी जा पॉली ने १९२७ में मरी धारणाओं के विरुद्ध प्रस्तुत की थी। मरी धारणा के लेस का तथ्या थी विजियर^१ व विचारा का पता लगत ही मन इस विषय सम्बन्धी अपने विचारा का एक सम्मिश्र विवरण दो टिप्पणियों के रूप में तयार किया जो ऐम्बेडींग आफ साइन्सेज के 'वात रादी' के सितम्बर १९५१ और अक्टूबर १९५२ के अंक में प्रकाशित हुई थी। विजियर के विचारा के विषय में तो मरी वा^२ में लिखूंगा, किन्तु जिन बाना की ओर मेरा ध्यान अब आकर्षित हुआ था उनमें से एक निम्नलिखित बात भी थी। "यूमान^३ व तक का दावा यह है कि तरंग-यानिकी व प्रायिकता-मूलक वितरण^४ का निवचन गुप्त प्राचला^५ के कायकारण^६ सिद्धान्त के द्वारा किसी प्रकार भी संभव नहीं है। किन्तु यद्यपि यह नहीं समझा जा सकता कि द्वि-साधन सिद्धांत अथवा नाविक-तरंग सिद्धांत प्रमाणित हो गये हैं तथापि उन सिद्धांतों का अस्तित्व तो है ही। अतः यह समय में नहीं आता कि 'यूमान' के प्रमेय के साथ इन दोनों सिद्धान्तों के अस्तित्व का मागत्य कैसे हो सकता है।' इस उक्ति के देखने पर मरी उस प्रमेय की उपपत्ति का पुनः समीक्षण किया और अब मेरी समझ में यह आ गया कि यह उपपत्ति मुख्यतः निम्नलिखित अधिमायता पर अवलम्बित है—'तरंग-यानिकी में जितना भी प्रायिकता-मूलक वितरण संभव माने जाते हैं उन सबका भौतिक अस्तित्व उस प्रयोग को करने से पहले भी विद्यमान रहता है जिस प्रयोग के द्वारा उनमें से केवल एक ही वितरण वास्तविकता प्राप्त कर लेता है।' अतः कणिका के स्थान और गति की अवस्था के सम्बन्ध में उस तरंग के गान से जिन प्रायिकता मूलक वितरणों का निगमन होता है वे सब उस स्थान और गति की अवस्था का यथार्थतः नाप करनेवाले प्रयोगों से पहले ही विद्यमान रहते हैं। इसके विपरीत यह भी आसानी से मान लिया जा सकता है कि इन प्रायिकता-मूलक वितरणों की अथवा कम से कम इनमें से कुछ को सृष्टि तो नापन की क्रिया के द्वारा भी हो सकती है और उनका अस्तित्व केवल नाप की क्रिया समाप्त हो चुकने के बाद में, परन्तु नाप के परिणाम का गान प्राप्त होने से पहले तब ही रहता है। अतएव समस्त क्वांटम भौतिकी नापन की क्रिया का ही परिणाम अविश्व मानने से उससे भी यह बात मुसगत है। द्वि-साधन सिद्धान्त में और नाविक-तरंग सिद्धान्त में (जिनमें इस दृष्टि से कोई भेद नहीं है) यह माना जाता है कि नततः तरंग के आयाम व बल द्वारा निर्णीत प्रायिकता मूलक स्थान-सापस वितरण तो नाप से पहले ही विद्यमान रहता है किन्तु अन्य प्रायिकता-मूलक वितरण (जो या मरी-सम्बन्धी

पिनरप) तापने की प्रिया म उन्मन्न हान ह। आ जिम अधिमायता पर यूमन का तर जाश्रित ह वह पहल (स्वाभ्यासा) प्रिरण के लिए अनुप्रयाज्य ही नहीं है। पन्त इत तर व परिणाम ता जन्मिन्ता ही रहता। गुद प्रापिकता मूल्य निवचन समस्त प्रापिकतामूल्य पिनरता का प्रिरुत एवमा मानता ह। यही कारण था रि यूमन ने दम समाता का जन्मिन्ता व रूप में म्यापित कर लिया था। किन्तु ऐसा करने म उहाने कतर यहा प्रमाणित किया ह रि यदि हम गुद प्रापिकतामूल्य निवचा की मूल धारणाआ का मान ० ता हमें उत निवचन का स्वीकार करने के लिए भी बाध्य हाना पन्गा। किन्तु यह ता एव प्रकार का दूषित चर (विगम सर्विल) ह जोर जम यूमन व प्रमय म वह महत्त्व तहा रह गया ह जा गन र्द वर्यो तर मै भी मानता रहा था।

श्री बाह्य व 'म प्रारम्भित काय व वाद आरी प्वास्ते 'स्टीटपूट' में काम करने वाले श्री निजियर व मन में यह अत्यन्त राचर विचार उपन्न हुआ कि द्वि-भाषा निद्वान में जोर आइन्स्टाइन द्वारा प्रमाणित एव प्रमय में आनुस्य स्यापित करता चाहिए। (आइन्स्टाइन ने यत् प्रमय १९२७ में मरे जमधाना म सबवा स्वतन्त्र रूप में प्रमाणित किया था क्याकि उम समय म ता क्वाटमा पर काम कर रहा था जोर व्यापन आपक्षितता की जाग मरा यान नहीं था किन्तु आइन्स्टाइन का मनायोग व्यापन आपक्षितता प' केन्द्रित था जोर व क्वाटमा का अध्ययन नहीं कर रह थे।) इम आनुस्य की चित्तानपयता का हृदयगम करन के लिए यह सममना आयश्यव ह रि इम समय सैद्धान्तिक भीतिनन दा अमधेय^१ दला म विभक्त है। आइन्स्टाइन और उनके शिष्या का एव छाटा-सा दल तो व्यापन आपक्षितता की धारणाआ के विस्तारण का द्वारा आपक्षिकीय विचारधारा में प्रगति करना चाहत है किन्तु सद्धातिवा का विपुल बहुमत पारमाणविन समस्याआ की राचरता से आट्टष्ट हाकर क्वाटम भीतिवी की प्रगति के काम का जागे क्पने में लगा हुआ है जोर व्यापन आपक्षितता की धारणाआ की जोर उतका ध्यान त्रिलुङ्ग नहीं ह। इसमें सदेह नहीं रि तरग-यानिबी ने विगिष्ट आपक्षितता की धारणाआ को ग्रहण करके उन्हे ममाविष्ट करने का प्रयत्न किया है। टिग्व^२ के इन्क्वैरान नतन^३ के सिद्धात में और उससे भी वाद के टोमोनागा,^४

रियगर', फैनमैन' और टाइमा' के उत्कृष्ट सिद्धान्तों में आपेक्षिकीय सहचरण' व धारणाओं का उपयोग किया गया है।^१

इन सबमें सदैव विविष्ट आपेक्षिकता का ही उपयोग हुआ है। किन्तु हमें विदि है कि अवेर्यी विविष्ट आपेक्षिकता पर्याप्त नहीं है और उनका व्यापकीकरण आवश्यक है। यही १९१६ में आइन्स्टाइन ने किया था। अतः यह बड़े आश्चर्य की बात है कि आपुनित भौतिक विज्ञान के दो महान सिद्धान्तों में—व्यापक आपेक्षिकता के सिद्धान्त में और क्वांटम सिद्धान्त में—याई सफल नहीं है और वे एक दूसरे की उभार करते हैं। किसी-न किसी का इन दोनों का संश्लेषण करने में किसी दिन सफलता मिल जाना अत्यन्त आवश्यक है।

व्यापक आपेक्षिकता के सिद्धान्त की प्रमुख रूपरेखा का निर्माण कर लेने के पश्चात् आइन्स्टाइन ऐसी युक्ति की खोज में लग गये जिससे गुरुत्वीय बल-क्षेत्र की विविधताओं के द्वारा ही द्रव्य की पारमाणविक संरचना का निरूपण संभव हो जाय। उसी समय के निम्नलिखित प्रश्न के अध्ययन में भी व्यस्त थे। व्यापक आपेक्षिकता सिद्धान्त में यह मान लिया जाता है कि ब्रह्म-दिक्-काल' में किसी वस्तु की गति उसी दिक्-काल की अल्पातरी रेखा' के द्वारा निरूपित होती है। इसी अधिमान्यता की सहायता से आइन्स्टाइन ने ग्रहा की सूर्य-परिभ्रमा के सूत्रों का पुनर्निगमन करने में सफलता प्राप्त की थी। इसके अतिरिक्त इसी के द्वारा बुध' के परिसौर विन्दु' के दीर्घकालिक' प्रगमन' की व्याख्या हो सकी थी। किन्तु यदि हमें यह अभीष्ट हो कि गुरुत्वीय क्षेत्र की विविधताओं के अस्तित्व के द्वारा द्रव्य की मूल कणिकाओं का निरूपण करें तो केवल गुरुत्व-क्षेत्रों की समीकरणों को ही लेकर यह प्रमाणित करना संभव जाना चाहिए कि ये विविधताएँ दिक्-काल की अल्पातरी रेखाओं पर ही गमन करती हैं और इस बात को स्वतंत्र अधिमान्यता के रूप में निविष्ट करने की आवश्यकता नहीं होनी चाहिए। दीर्घकाल तक आइन्स्टाइन इसी प्रश्न पर विचार करते रहे थे और १९२७ में ग्रोमर^२ के सहयोग से

1 Schwinger 2 Feynmann 3 Dyson 4 Relativistic Co variance

१ इन सिद्धान्तों का उद्देश्य कण निवार्यों के समाप्तपूर्ण तथा प्रकृष्ट आपेक्षिकीय सिद्धान्तों का निर्माण है जो तर्क-यात्रियों की निवार्यों के लिए उपयुक्त बनाने की समस्या को हल करने के लिए आवश्यक है। इसका विवेचन परिच्छेद १२ के खण्ड १ के अन्त में दिया गया है।

5 Curved space time 6 Geodesic 7 Mercury 8 Perihelion 9 Secular
10 Advance 11 Grommer

उच्छानुसूल प्रमय ता प्रमाणित रत्न म व मफर भी हा मय ध । वां में म प्रमाण का स्वय आइन्स्टाइन जीर उता महरागी र्णप 'उ' तथा हापमा' व वई गिाजा में प्रवर्धित किया । इसमें नतिर भी मर नगी वि आइन्स्टाइन के प्रमय के प्रमाण में जीर मर १९०७ में न्पिे हूत उम प्रमाण म कुछ ममानता ह जिमव द्वारा मा यह मिद्ध किया था वि वणिरा जिम ५-नरग की विविधता हा उसी तरग की कला की प्ररणा की दिता में ही उम वणिरा का उम हाता गहिा । विविधर निरालीय मापतत्र' की परिभाषा म ही ५-नरग पन्न का निविष्ट करके इस ममा नता का अधिर परिच्छित वरन व प्रयत्न म ध्यस्त हैं । यद्यपि अभी तर हा प्रयामा व फर मभवन पूण रूप म विवगनीय उही माने जा मान नय भी यह निदिचन ह कि जिम दिता में व अप्रमर हा रह ह वह अत्यन्त गचर ह क्यकि यह मभव ह वि हमा माग स व्यापर आपक्षितता तथा तरग-यांत्रिकी के मम्मन्त में मफरना मिल जाय । यन्ि द्रव्य की वणिराजा का (और उमी प्रराण फोनाता का) दिक्कालीय मापतत्र की विविधताआ द्वारा निरूपित किया जाय और यह मान लिया जाय कि यह मापतत्र एव तरगित क्षेत्र द्वारा परिच्छित है और वणिवाणें स्वय भी उमी क्षेत्र की अग ह तथा उम क्षेत्र की परिभाषा म ही प्यान व नियताव का प्रादुभाव हा जाता ह ता वणिवागम्य' की आइन्स्टाइन की धारणाआ तथा मरे द्वि-साधन मिद्धात की धारणाआ का मम्मलन करने में मफलता मिल मरती ह । किन्तु क्या आपक्षितता तथा क्वाटमा का यह मुदर मदर्पण मचमुच मभव हा मवेगा ? यह ता भविष्य ही बतायेगा ।

म इस बात का नितान आवश्यक मानता हूँ कि ऐसा सदर्पण हा जाने पर तरग यांत्रिकी के जिम प्रचलित निरचन में पारमाणविक निराय का क्वाटमीकरण तथा आइन्जनवग की अनिश्चितताएँ और सामान्यत मूद्धम-न्तरीय भीतिक मापा के परिणामा का प्रागुक्ति की ममभवता भी सम्मिलित ह उसके द्वारा अब तब जितने परिणाम प्राप्त हुए ह और जितनी भी परिवर्तन की विधिया का उसमें उपयोग किया जाता है उन समी व्युत्पत्ति फिर से करनी पड़ेगी और उनकी तब-सगतता को फिर से प्रमाणित करना पड़ेगा । किन्तु तब गायद आप यह वहे कि यदि प्रचलित निवचन में मभी प्रेक्षणीय घटनाआ की व्याख्या करने की सामर्थ्य है तब उस बदलने की तथा द्वि-साधन जीर विचित्रतायुक्त हल आदि की निरर्थक जटिलताआ को प्रविष्ट करने की क्या आवश्यकता ह ? इसमे ता नवीन विवट बाधाआ के प्रादुर्भाव की ही आशका है । इसका

इस समय भौतिक विज्ञान के लिए आवश्यकता यह है कि शीघ्र ही इन गणिकाओं की संरचना के स्वरूप का कुछ निणय हा जाय और विशेष कर लारेंटज के पुराने सिद्धान्त में जैसी इलेक्ट्रॉन की त्रिज्या^१ की धारणा थी वैसी ही धारणा पुन स्थापित हो सके । किंतु इन गणिकाओं के वर्णन में केवल सारियकीय ψ -तरंग के ही उपयोग के कारण इस काम में अनेक बाधाएँ उपस्थित हो गयी हैं क्योंकि यह इन गणिकाओं के लिए किसी भी प्रकार के संरचनात्मक प्रतिरूप के उपयोग का निषेध करता है । यह विश्वास करना अनुचित नहीं समझा जा सकता कि शायद दृष्टिकोण को बदलकर पुन दिक्-कालीय निरूपण पर लौट जाने में इस सम्बन्ध में कुछ सहायता मिले । स्पष्टतः यह केवल एक आशा मात्र ही है । पाली तो शायद इसे निरक् चक^२ ही कहें । किन्तु हमारी समझ में इस संभावना को पहले से ही बिल्कुल कल्पनातीत समझना ठीक नहीं है अथवा यह आशंका हो सकती है कि क्वांटम भौतिकी के शुद्ध प्रायिकतामूलक निवचन में विश्वास बहुत अधिक हो जाने में अंत में कहीं प्रगति बिल्कुल ही बन्द न हो जाय ।

अंत में जिम प्रश्न का उत्तर हमें चाहिए वह यह है और आइन्स्टाइन बहुधा इसी पर ज़ोर देते रहें हैं कि क्या वर्तमान निवचन जिसमें पूर्णतः सारियकीय ψ -तरंग का उपयोग किया जाता है वास्तविकता का सवागपूर्ण विवरण है ? यदि ऐसा हो तो अनियतिवाद को स्वीकार कर ही लेना पड़ेगा और यह भी मान लेना पड़ेगा कि आकाश और काल के संस्थान में परमाणु-स्तरीय वास्तविकता का परिशुद्ध निरूपण असंभव है । अथवा इसके विपरीत क्या यह निवचन अपूर्ण है और चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान के ज्ञान अधिक पुराने सांख्यिकीय सिद्धान्तों के ही समान क्या इसके पीछे भी पूर्ण नियति-मूलक वास्तविकता छिपी है जिसका वर्णन आकाश और काल के संस्थान में ऐसे चरा के द्वारा किया जा सकता है जो हमारे लिए गुप्त ही रहेंगे अर्थात् जिनको प्रयोगों के द्वारा हम निर्णीत करने में असमर्थ रहेंगे ? यदि यह द्वितीय परिकल्पना कभी सफल होगी तो मेरा विश्वास है कि वह द्वि-माघन मिद्धांत के ही रूप में होगी । इसमें सन्देह नहीं कि उसमें थोड़े बहुत परिवर्तन करके तथा उम व्यापक आपेक्षिकता से अधिक सुमंगल रूप देकर अधिक सुस्पष्ट अवश्य कर लेना पड़ेगा । किन्तु ऐसा कहने में मैं न तो उन विकट-समस्याओं से अलक्ष्य—कठिनाइयों की उपेक्षा कर रहा हूँ जो ऐंम प्रयत्न के समक्ष उपस्थित होंगी और न उन कठिन गणितीय समस्याओं की जो उसकी जड़ का दृढ़ता-पूर्वक जमाने के लिए आवश्यक होंगे । यदि यह प्रयास सफल होना असंभव प्रमाणित हो जाय तब तो

1 Radius ■ Blank cheque

हमें फिर शुद्ध प्रायिकतामूलक निवचन का आश्रय लेना ही पड़ेगा, किन्तु अभी तो मुझे इस समस्या की पुनः भीमासा करना निरर्थक नहीं मालूम होता।

इसमें सन्देह नहीं कि यह देखकर कि टम दिशा में जा प्रयास में प्रारम्भ में करता रहा या उन्हें छोड़कर मैं पहले तो पिछले पच्चीस वर्षों से अपने सब लेखों में बाह्य तथा हाइजनबर्ग के निवचन का ही प्रतिपादन बराबर करता रहा और अब इस सम्बन्ध में नयी शक़ाएँ प्रकट कर रहा हूँ, कुछ लोग मुझ पर असंगतता का दाप लगावेंगे और मुझसे पूछेंगे कि क्या मेरा पहलेवाला दृष्टिकोण ही वास्तव में सही नहीं था? यदि परिहाम क्षम्य हो तो वाल्टेयर के शब्दों में इसका मैं यह उत्तर दे सकता हूँ कि "मूख मनुष्य वह है जो अपने विचारा को कभी बदलता नहीं।" किन्तु इससे अधिक गंभीर उत्तर भी संभव है। विज्ञान के इतिहास से यह बात स्पष्ट है कि जब जब कुछ धारणाओं पर लोगों का आगम¹ के सदाग अगाध विश्वास हो गया, तब-तब ऐसी धारणाओं के निष्ठुर प्रभाव के कारण विज्ञान की प्रगति में सदैव बिघ्न पड़ता रहा है। इसलिए जिन सिद्धान्तों का हम निर्विवाद मानने लगे हैं उनकी समय-समय पर अत्यन्त सूक्ष्म आलोचना करते रहना ही उचित है। पिछले २५ वर्षों में तरंग-यांत्रिकी के विगुद्ध प्रायिकतामूलक निवचन से भौतिकज्ञों का बड़ी सहायता मिली है क्योंकि इसने उन्हें उन दुर्लभ समस्याओं के अध्ययन से परास्त नहीं होने दिया है जिनकी भीमासा उतनी ही कठिन है जितनी कि द्वि-माघनसम्बन्धी धारणाओं की, और यह इसी का परिणाम है कि बहुसंख्यक अनुप्रयोगों² की दिशा में इतनी अग्रेसरता और सफल प्रगति संभव हुई है। किन्तु आज तरंग-यांत्रिकी के पढ़ाने का दग ऐसा हो गया है कि उसकी अन्वेषक शक्ति बहुत ही घट गयी है। यह बात सभी स्वीकार करते हैं और विगुद्ध प्रायिकतामूलक निवचन के पक्षपाती स्वयं भी ऐसी नवीन धारणाओं के निविष्ट करने का प्रयत्न कर रहे हैं जो और भी अधिक अमूर्त³ हैं और जो चिरप्रतिष्ठित प्रतिष्ठा से और भी अधिक दूर हैं यथा मैट्रिक्स, अल्पिष्ट-दैर्घ्य⁴ अरेखिक वल-क्षेत्र⁵। इन प्रयासों की राक्षसता का अस्वीकार किये बिना भी यह प्रश्न उठाया जा सकता है कि क्या यह अधिक अच्छा न होगा कि हमारे प्रयत्न दिव-कालीय निरूपण की सुस्पष्टता का पुनः प्राप्त करने की दिशा में हों। जा भी हो, तरंग-यांत्रिकी के निवचन की कठिन समस्या का पुनः अध्ययन करने की आवश्यकता यह जानने के लिए ता है ही कि इस समय जा मत 'गात्रसम्मत'⁶ माना जाने लगा है, क्या वास्तव में केवल वही ऐसा मत है जो स्वीकार करने योग्य है?

का पूरा समझ नहीं हो सका। सामरफेल्ड का सिद्धान्त बामर श्रेणी¹ तथा एक निरूपण श्रेणी की द्विक रेखाओं² के अस्तित्व की प्रागुक्ति तो सही कर देता है, किन्तु यह उनके वास्तविक स्थान का सही नहीं बनलाता। सामरफेल्ड की इस आभास मरुत्ता का सबथा आनस्मिक भी नहीं समझा जा सकता। अतः ऐसा प्रतीत हुआ कि उनके सिद्धान्त में किसी महत्त्वपूर्ण अवयव की कमी रह गयी है। तरंग-यांत्रिकी के विज्ञान में इस स्थिति में कोई सुधार नहीं हुआ, यद्यपि वह कुछ अधिक ही बिगड़ गयी। यस्तुतः सामरफेल्ड के प्रयास की तरंग-यांत्रिकी में रूपान्तरित करने के लिए उसमें आपेक्षिकता की निविष्ट करना आवश्यक हो गया। हम देख ही चुके हैं कि जो आपेक्षिकीय तरंग-ममीकरण सरलता से प्राप्त हो गया था, वह काल की अपेक्षा द्वितीय वर्ण³ का हाने के अतिरिक्त श्राडिंजर के समीकरण का प्रवृत्त आपेक्षिकीय व्यापकीकरण⁴ भी दिखाई देता था। ऐसा मालूम देता था कि सामरफेल्ड के सूत्र को पुनः प्राप्त करने के लिए केवल इतना ही पर्याप्त होगा कि इस समीकरण में क्वांटमीकरण की नवीन विधि का उपयोग कर लिया जाय अर्थात् उसके 'इष्टमाना' को मालूम कर लिया जाय। किन्तु इस परिकलन का परिणाम निराशाजनक सिद्ध हुआ। जो सूत्र प्राप्त हुआ वह रूप में तो सामरफेल्ड के सूत्र से मिलता-जुलता था, किन्तु फिर भी वह बिल्कुल भिन्न ही था और जिन प्रायोगिक तथ्या की व्याख्या करना था उनसे इस सूत्र का सागत्य भी पहले से कुछ अधिक अच्छा नहीं था। अतः असफलता संपूर्ण थी। तरंग यांत्रिकी सामरफेल्ड के सिद्धान्त में वांछित नवीन अवयव का निवेपण नहीं कर सकी। इस समय तक उहलेन्जेक और गूडस्मिट⁵ की गवेपणाओं के कारण इस नवीन अवयव की रूपरेखा का ज्ञान प्राप्त हो चुका था। इसके विषय में हम आगे चलकर विवेचन करेंगे।

किन्तु सामरफेल्ड के द्विकरेखाओं से सम्बन्धित प्रश्न के अतिरिक्त सूक्ष्म रचनाओं के विषय में कुछ अन्य कठिनाइयाँ भी उपस्थित हो गयी। सामरफेल्ड के सिद्धान्त ने एकसंकिरण स्पेक्ट्रम में विद्यमान कुछ सूक्ष्म रचनाओं की तो बहुत सही प्रागुक्ति कर दी थी। किन्तु इस सिद्धान्त के सूत्र के अनुसार जैसी होनी चाहिए थी उससे बड़ी अधिक जटिल रचना वास्तव में उन स्पेक्ट्रम धनियाँ की थी। इस बात का एक उदाहरण यह है कि तत्त्वों के एकसंकिरण-स्पेक्ट्रम में सदा तीन L -श्रेणियाँ विद्यमान रहती हैं और इनकी रेखाएँ आर्वात्सिया के क्रम में अति-याप्त⁶ होती हैं। किन्तु सामरफेल्ड

1 Balmer's Series 2 Doublets 3 Second order 4 Relativistic generalisation 5 Proper values 6 Uhlenbeck and Goudsmit 7 Overlapping

के सिद्धान्त में दा—वेवल दो—ही थ्रेणिया की प्रागुक्ति सम्भव है। उसमें तीसरी के लिए कोई स्थान ही नहीं है। ऐसी अनपेक्षित स्पेक्ट्रमीय रंगों के वर्गीकरण के लिए सामरफेन्ड ने बाद में अपने सिद्धान्त की दा क्वाटम-संख्याओं के साथ एक तीसरी क्वाटम-संख्या का जोड़ जोड़ दिया जो उमरा बहुत कुछ असमर्थनीय काम रस दिया "आन्तरिक क्वाटम-संख्या"। उस समय इस तीसरी क्वाटम-संख्या का निवेशन मिल चुका ही आनुभविक था और उसके सिद्धान्तिक निवचन के जिनने भी प्रयत्न किये गये थे उन सबका छाना पड़ा था। इसके अनिश्चित तरंग-यात्रिकी भी इस मामले में अधिन भाग्यशाली नहीं निकली और उसका भी इस अनिश्चित थ्रेणो तथा आन्तरिक क्वाटम-संख्या के निवचन में कोई सफलता नहीं मिली। यहां भी फिर उसी पूर्वोक्त नवीन अवयव के निवचन की आवश्यकता दिखाई दी।

अब जिन घटनाओं की व्याख्या पुराने क्वाटम सिद्धान्त के द्वारा नहीं हो सकी थी उनके दूसरे वर्ग—चुम्बकीय विपरीताओं—की तरफ देखिए। हम जसामाय जीमान प्रभाव का जिक्र पहले ही कर चुके हैं और यथा चुके हैं कि इसके अस्तित्व की व्याख्या न तो लार्डज के मूल इलैक्ट्रान सिद्धान्त के द्वारा हो सकी थी न पुराने क्वाटम-सिद्धान्त के द्वारा और न तरंग-यात्रिकी के द्वारा। इस साविक असफलता का कारण यह था कि इन तीनों ही सिद्धान्तों में जीमान प्रभाव के निवचन के मूल में एक ही अधिमायता स्वीकार कर ली गयी थी। यह अधिमायता यह थी कि परमाणुओं में जितना भी चुम्बकीय घूर्ण होता है उस सबका एक मात्र कारण परमाणुओं के आन्तरिक इलैक्ट्रानों की वक्षीय गति ही है। यदि यह बात मान ली जाय तो यह परिणाम अनिवार्य है कि परमाणु के संपूर्ण सवेग घूर्ण और उसके संपूर्ण चुम्बकीय घूर्ण का अनुपात किसी नियत मान का होना और यह मान केवल इलैक्ट्रान के बहुत आदर उनमें द्रव्यमान के अनुपात पर ही अवलम्बित होगा। चिरप्रतिष्ठित इलैक्ट्रान सिद्धान्त पुराना क्वाटम सिद्धान्त और तरंग-यात्रिकी का मूल रूप—इन तीनों से ही यही परिणाम निकलता है और तीनों ही सिद्धान्तों के अनुसार समस्त जीमान प्रभाव उसी सामाय प्रकार का होना चाहिए जिसकी लार्डज ने प्रागुक्ति की थी और जिसका जीमान ने आविष्कार किया था। जसामाय जीमान प्रभाव का अस्तित्व भी उपयुक्त अथ स्पेक्ट्रमीय तथ्यों के अस्तित्व के समान ही सिद्धान्त में एक नवीन अवयव के निवचन की

आवश्यकता का प्रकट करता है और यह भी प्रकट करता है कि इस नवीन अवयव का चुम्बकत्व से कुछ-न-कुछ सम्बन्ध अवश्य होना चाहिए।

इसके अनिरिक्त अनामाय जीमान प्रभाव का प्रायोगिक अध्ययन जीमान का आविष्कार के बाद से ही अनवरत रूप से चलता रहा था और उसके सम्बन्ध में कई आनुभविक नियम अच्छी तरह से पात हो गये थे। यहाँ हम उन आनुभविक नियमों का विवेचन नहीं कर सकते। हम केवल यही कह कर सतोष करेंगे कि लैंडे^१ ने पुराने पवाटम सिद्धान्त में एक गुणक—सैडे का H -गुणक—का निवेशन करके इस बहुसंख्यक नियमों को एक संक्षिप्त रूप देने में सफलता प्राप्त कर ली थी। किन्तु इस H -गुणक का मध्यम निवचन अभी तक सत्यात्मक ही था। इसमें संदेह नहीं कि अनामाय जीमान प्रभाव सम्बन्धी इस समस्त अनुसंधान काय ने इस घटना के सर्वांगपूर्ण सिद्धान्त का निर्माण में बड़ी सहायता की थी क्योंकि जिन नियमों की व्याख्या करना था उनके यथातथ्य गणितीय रूप हमें इस प्रकार पहले से ही मालूम हो गये थे।

किन्तु केवल अनामाय जीमान प्रभाव सम्बन्धी घटनाएँ ही ऐसी चुम्बकीय घटनाएँ नहीं थी, जिनकी व्याख्या नहीं हो सकी थी। ध्रुव चुम्बकीय विपरीतताओं^२ का व्याख्या भी नहीं हो सकी थी। पारमाणविक चुम्बकत्व का कारण परमाणु के आन्तरिक इलेक्ट्रॉनों का कक्षीय परिभ्रमण है, इस परिवर्तना से यह परिणाम निकलता है कि यदि कोई लोहे की बेलनाकार छड़ उसके किनारे अक्षीय बिन्दु से लटकी हो और उस चुम्बकित कर दिया जाय तो वह छड़ अपने अक्ष पर घूमने लगेगी। विपरीतता यदि उस छड़ को अपने अक्ष पर घुमाया जाय तो उसमें चुम्बकीय ध्रुवों की सृष्टि हो जायेगी। इसके अनिरिक्त दोनों ही अवस्थाओं में छड़ के सवर्ण ध्रुव तथा चुम्बकीय ध्रुव का अन्त पात उपयुक्त नियमांक के बराबर होना चाहिए और इस नियमांक का मान क्लैरान के विशिष्ट गुणों पर अवलम्बित होगा। इस सिद्धान्त की प्रागुक्ति के सत्यापन के लिए कई प्रयोग किये गये थे—आइन्स्टाइन और डि-हास^३ द्वारा तथा कारनेट^४ द्वारा। इनसे प्रमाणित हो गया कि दोनों ही परस्पर विपरीत घटनाएँ वास्तविक हैं। चुम्बकित छड़ वास्तव में घूमने लगती है और घूमने के कारण चुम्बकत्व भी उत्पन्न हो जाता है। किन्तु यहाँ चुम्बकीय घण और गवेय ध्रुवों के अनुपात का मात्र प्रागुक्त मान से दुगुना निकला। इस अप्रत्याशित परिणाम से कुछ संकेत मिले कि निवेशन नवीन अवयव की तरफ किस दिशा में करनी चाहिए। यह स्पष्ट हो गया कि परमाणु का समस्त

सम्बन्धित इन्द्राना के स्वीय परिष्करण का कारण उत्पन्न नहीं होता और परमाणु में जब प्रसार के चुम्बकीय घूर्णन तथा गवग घूर्णन विद्यमान रहते हैं जिससे अनुपात का मान उनका नहीं होता तबना यह समझना मान्य जाता था। यह मान का अनुसरण करने के कारण तथा गूडस्मिथ के मान में यह महत्त्वपूर्ण विचार आया कि स्वयं इन्द्रान में भावुकता निती नवन गति और निजा चुम्बकीय विद्यमान है।

२ ऊर्ध्वनयन और गूडस्मिथ की परिवर्तना

१९२५ के एक महत्त्वपूर्ण तथ्य में ऊर्ध्वनयन और गूडस्मिथ का यह प्रतिपादन किया था कि इन्द्रान में केन्द्र बल आता है। तब होता कि उनमें चुम्बकीय घूर्णन और नवन घूर्णन भी होता है। एक चुम्बकीय तथा नवन इन्द्रान का चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्तानुमादिन सिद्ध प्रस्तुत करना बहुत आसान है। जब कि जानता है काफी है कि इन्द्रान का एक छोट म गात्र के समान समझ लिया जाय जा प्रण विद्युत म आविष्ट है और जो अपन विनी एक व्यास पर घूम रहा है या नाच रहा है। ऊर्ध्वनयन और गूडस्मिथ ने अपनी परिवर्तना का अधिष्ठान परिच्छिन्न बनाने के लिए यह मान लिया कि इन्द्रान में निजी चुम्बकीय घूर्णन तथा उगन निजी गवग घूर्णन के अनुपात का मान चिरप्रतिष्ठित साधारण मान से दुगुण होता है। इस परिवर्तना का विचार उनका मन में घूर्ण चुम्बकीय प्रयोग के परिणामों के द्वारा उत्पन्न हुआ था। इनके अतिरिक्त विद्युत से आविष्ट और घूमन हुए गात्र के चिरप्रतिष्ठित प्रतिष्ठा के द्वारा भी इस परिवर्तना के औचित्य का समझन किया जा सकता था। किन्तु इन चिरप्रतिष्ठित प्रतिष्ठा का स्वीकार करने में क्वाटम-दृष्टिकोण से जा बठिनाइयाँ उपस्थित होती हैं उनके कारण यह समझन अधिष्ठान विद्वानों के योग्य नहीं समझा जा सका। फिर भी हम देखें कि ऊर्ध्वनयन और गूडस्मिथ की परिवर्तना अपनी उपलब्धताओं के द्वारा बहुत ही अच्छी तरह सत्यापित हो चुकी है और पहले के समस्त सिद्धान्तों में जिस अवयव की कमी थी उगवा अब पता चल गया है।

हमारी इच्छा है कि इस नवीन परिवर्तना के पारिमाणिक पक्ष का और अधिक सुस्पष्ट कर दिया जाय। क्वाटम सिद्धांत में पारिमाणिक इन्द्रानों का जा बक्षीय गवग घूर्णन क्वाटमिन् अवस्थाओं में होता है उसका मान सदैव प्लांक के नियमों के

$\frac{1}{2}$ —वें भाग के किसी पूर्ण अपवर्त्य^१ के बराबर होना है। यह क्वांटमीकरण का ही परिणाम है। इन इलेक्ट्रानों में कक्षीय चुम्बकीय घूर्ण भी होता है जिसका मान “बोह्र का मैग्नेटोन”^२ नामक एक मूल राशि के किसी पूर्ण अपवर्त्य के बराबर होता है। यह मैग्नेटोन ठीक इस प्रकार का काम करता है माना वह सचमुच चुम्बकीय का परमाणु ही हो और आज तो चुम्बकीय घटनाओं के समस्त व्यापक विद्वान्ता में इसका उपयोग अनिवार्य हो गया है। स्टर्न और गेरलाक^३ के जिस विख्यात प्रयोग के द्वारा अकेले एक परमाणु का चुम्बकीय घूर्ण नापा जा सकता है, उसने ता बोह्र के मैग्नेटोन के भौतिक अस्तित्व का निश्चित रूप से प्रमाणित कर दिया है। इसके अति-

न्यून बोह्र के मैग्नेटोन में सवेग घूर्ण के क्वांटमीय मात्रक $\frac{h}{2\pi}$ का भाग देने से जो भागफल प्राप्त होता है उसका मान वही चिरप्रतिष्ठित मान है जिसका उत्कल हम ऊपर कई उदाहरणों में कर चुके हैं। ऊह्लेनबैक और गुडरिफ़्ट ने इलेक्ट्रान के निजी सवेग घूर्ण का मान क्वांटम मात्रक $\frac{h}{2\pi}$ के आधे भाग के बराबर निर्धारित किया है। अतः दोनों प्रकार के घूर्णों के अनुपात का मान चिरप्रतिष्ठित मान से ठीक दुगुना ठहरता है। उन्होंने इलेक्ट्रान के निजी घूर्णन और तत्सम्बन्धी सवेग घूर्ण को व्यक्त करने के लिए अंग्रेजी शब्द स्पिन^४ का प्रयोग किया है। इस शब्द को सभी भौतिकज्ञ ने पसंद कर लिया है और अब वे इसी का व्यवहार करते हैं।*

जिस समय इन दो हाल्लैण्ड निवासी भौतिकज्ञों के मन में इलेक्ट्रान के गतन का भावना का प्रादुर्भाव हुआ था, उस समय नवीन यानिकी का जन्म होने ही वाला था। अब यह समझना आसान है कि क्यों इस परिवर्तन का विकास पहले पुराने क्वांटम विद्वान्ता की सीमाओं के अन्तर्गत ही हुआ। सबसे पहले ऊह्लेनबैक और गुडरिफ़्ट ने तथा बाद में अन्य भौतिकज्ञों ने, जिनमें टामस और फ्रेकेल^५ का नाम उल्लेखनीय है सूक्ष्म-रचना और जीमान प्रभाव के सिद्धान्त में इलेक्ट्रान के इन नवाविष्ट गुणों का निवेदन किया था। इसके परिणाम बहुत सतापजनक निकले और यह बात स्पष्ट हो गयी कि हमें नही मांग मिल गया है। जो थोड़ी-सी कठिनाइयाँ बच गयी थी उनका कारण

1 Whole multiple 2 Bohr's magneton 3 Stern and Gerlach 4 Spin
5 Thomas and Frenkel

* इन दिनों में इसे नवन शब्द के द्वारा व्यक्त कर सकते हैं।

स्पष्ट पुगती क्वाटमीय विधिया का उपयोग था। और तरंग यात्रिकी में इल्लुट्टान नतन के निविष्ट करने पर इन कठिनाइया का दूर हो जाना निश्चित था। किंतु यह निवर्तन बिना कठिनाई के नहीं हो सका था। अतः म पाली^१ की एक महत्वपूर्ण गवेषणा के आधार पर डिरेक् ने इसमें अत्यंत रोचक ढंग से सफलता प्राप्त कर ली और कम अनेक प्रकार की नवीन संभावनाएँ प्रकट हो गयीं। डिरेक् के सिद्धांत के अध्ययन के लिए अधिक अच्छी तरह प्रस्तुत होने के लिए पहले पाली की प्रारम्भिक गवेषणा के विषय में कुछ कह देना आवश्यक है।

३ पाली का सिद्धांत

इल्लुट्टान के नतन में और फाटान के उस गुण में जिस हम प्रकाश का ध्रुवण^२ कहते हैं बहुत कुछ सादृश्य है। वस्तुतः इसके द्वारा इल्लुट्टान में एक प्रकार की सम गित्व^३ की कभी अथवा अममिति प्रकट होती है। निश्चय ही इन दोनों में पूर्ण तादात्म्य नहीं है क्योंकि नतन में जग की दिशा भी होती है और उस दिशा में दक्षिणावर्ती या वामावर्ती अभिविशाएँ^४ भी होती हैं। किन्तु ध्रुवण में प्रानागिर विष्ट^५ के कम्पन के कारण बिना ता निदिष्ट होती है किन्तु उस दिशा में कोई अभिविशा नहीं होती। फिर भी यदि हमें तरंग-यात्रिकी में नतन का निविष्ट करना है तो अधिक संभावना यही मालूम देती है कि हमें उसी भाग का सहारा लेना पड़ेगा जिसके द्वारा प्रकाश की द्वैतमयी धारणा में ध्रुवण के साथ फोटान के अस्तित्व का सागत्य समझा जा सकता था क्योंकि यह उद्गमन विधि उसी विधि का अनुक्रम है जिसके द्वारा प्रकाश-तरंगों के तात सिद्धांत से प्रारम्भ करके द्रव्य-तरंगों का सिद्धांत प्राप्त किया गया था। ऐसा जान पड़ता है कि पाली का अपने नतन सम्बन्धी महत्वपूर्ण अनुसंधानों की प्रगति में इसी विचार से पथ प्रदान मिला था।

इसलिए पहले हम इसी बात का विवेचन करें कि प्रकाश के ध्रुवण का और फाटान के अस्तित्व का सागत्य कैसे स्थापित किया जाय। मान लीजिए कि किसी निकल प्रिज्म^६ पर एक सम ध्रुवित^७ रश्मि पड़ रही है। प्रकाश बिम्बान के चिरप्रतिष्ठित तरंग सिद्धान्तों के अनुसार ता घटना इस प्रकार होती है मानो निकल प्रिज्म का उपस्थिति के कारण आपतित समतल तरंग कम्पन का ऐसी दो समवायिक जग (D तथा D') की दिशाओं में विघटन हो जाता है जो उस प्रिज्म की संरचना द्वारा

१ Pauli २ Polarisation ३ Isotropy ४ Senses ५ Light vector
६ Inductive method ७ Material waves ८ Nicol prism ९ Plane polarized

निर्धारित होनी है और D की दिशा का सघटक तो प्रिज्म में से पार निकल जाता है, किन्तु D की दिशा का सघटक रूक जाता है। यदि निकलने को ९० घुमा दिया जाय तो हम यह समझ सकते हैं कि D तथा D अर्थात् की दिशाएँ तो बदली नहीं हैं, किन्तु अब सिर्फ D की दिशावाला सघटक ही प्रिज्म के पार निकल सकता है। अतः यदि प्रकाश-प्रचरण की दिशा से समकोणिक कोई भी दो अथवा D तथा D ऐसे लिये जायें जो परस्पर भी समकोणिक हों तो आपतित कम्पन D तथा D की दिशाओं में विघटित किया जा सकता है और तब समुचित प्रकार से अनुयुक्त^१ निकल प्रिज्म उन दोनों सघटकों में से किसी एक या या दूसरे को अलग करके रोक लेगा। यदि आपतित प्रकाश सम-ध्रुवित न हो और उमका ध्रुवण अथवा किसी प्रकार का हो तब भी घटना ऐसी ही रहेगी। प्रचरण की दिशा से लम्ब रूप दो समकोणिक अक्षा की दिशाओं में किसी भी आपतित प्रकाश के ऐसे सभाव्य विघटन अनन्त प्रकार के हो सकते हैं क्योंकि ये दोनों अथ अपने समतल में अनन्त प्रकार से अनुयुक्त हो सकते हैं। निकल प्रिज्म द्वारा दो परस्पर समकोणिक दिशाओं में ध्रुवित प्रकाश रश्मियाँ का पृथक्करण इनमें से प्रत्येक विघटन के अनुरूप संभव है। अब फोटान के अस्तित्व का मानकर हमी घटना का विवरण कीजिए। मान लीजिए कि किसी मात ध्रुवण की तरंग से सम्बन्धित फोटान-समूह निकल प्रिज्म में प्रवेश करता है। इनमें से कुछ फोटान तो प्रिज्म के पार निकल जाते हैं और उससे बाहर निकलते ही वे D-दिशा में ध्रुवित तरंग से अनुपगित हो जाते हैं। जब फोटान प्रिज्म से रुक जाते हैं। तब सिद्धांत के अनुसार निगत प्रकाश-ऊर्जा का नाप आपतित कम्पन के D-दिशिक सघटक की तीव्रता^२ के द्वारा अथवा उनके आयाम^३ के वर्ग के द्वारा होना है और प्रिज्म द्वारा रूकी हुई प्रकाश-ऊर्जा का नाप समकोणिक सघटक की तीव्रता के द्वारा होता है। अतः हमें यह स्वीकार करना ही पड़ेगा कि जितने फोटानों का ध्रुवण निकल प्रिज्म में वे निगत होना पर D-दिशा में होगा उनकी संख्या का और आपतित फोटानों की संख्या का अनुपात आपतित प्रकाश के D-दिशिक सघटक की तीव्रता के द्वारा नापा जा सकता है और जितने फोटान निकल स रुक गये उनका अनुपात उससे समकोणिक सघटक की तीव्रता द्वारा निर्धारित होता है। किन्तु यह मान लेने में कोई बाधा नहीं है कि इस प्रयोग में आपतित प्रकाश की तीव्रता अत्यन्त ही कम भी हो सकती है। तब प्रिज्म पर उत्तरात्तर एक फोटान के बाद दूसरा पहुँचेगा। ऐसी दशा में जैसा कि हमें व्यतिकर्ण^४ की घटना के सम्बन्ध में पहले

भा करना पडा था वना हो अर भा करना पगा अथवा मार्गरीय दृष्टिराज के स्था
में प्राप्तिता के दृष्टिराज या जायय या पगा जीर यह कहना पगा कि बाद आप
नित फाटान निरु में म निगन हान व वा D-दिगा म धरित निगा पनेगा रग
वान की प्राप्तिता का नाप नी आपतिन प्रगा-अपन र D-दिगा गघटन की तीव्रता
क द्वागही हागा । हम अर भी यह र माता ह नि प्रया गमराणिा अथगम D-D
क लिए फाटान क मम ध्रुवण की र मभायताग ह और र दाना मभायताग की
अपना-अपनी प्राप्तिताएँ आपतिन रगन क D रगा D दिगाभाया दाना गघटन की
तावताग द्वारा निधारित हाती ह । निरु स्पष्ट है कि जिन धारणाग का हमने
याधिन रागिया के नाप क लिए स्वीकार कर रिया था ठीक उमी प्रसार की धारणाग
पर हम यहा भी पहुँच गये हैं । अर हम निरु प्रिगम का एर एगा यत्र समन सनन ह
जिमके द्वारा हम यह जान रनन ह कि आपतिन फाटान D-दिगा म ध्रुवित था या
D-दिगा में । और यदि आपतिन फाटान की आनुपगिक तरग द्वारा निरूपित अरस्या
नाग हा ता नी मामायत हम रम नाप क परिणाम की यथातय प्रागुक्ति नही कर
मरेंगे । केवल दाना मभाय परिबन्धनाग की प्राप्तिताग ही निधारित कर मरेंगे ।
और चुनि D और D अगा का चुनन क असम्य तरीके हा मरन है अत फाटान की
प्रारम्भिन अवस्था में असम्य प्रकार क सम ध्रुवण भी मभाय रूप में निद्यमान रहन ह,
ठीक उमी प्रसार जम जिम कणिना की आनुपगिक तरग एर वण नही होनी उमकी एर
हा अवस्था म भी ऊर्जा के जनेर मान मभाय रूप मे विद्यमान रहने ह । यह हो सनता
ह कि कुठ जमाधारण म्यितिया में किमी फाटान पर निवल की रिया के परिणाम की
यथातय प्रागुक्ति मभव हो जाय । एमा तब ही हागा जब फाटान की प्रारम्भिन अवस्था
ध्रुवण की दिगा D-D की दृष्टि स शुद्ध अवस्था' हा जयता दूसरे गद्दा म जन आपतिन
तरग या ता D-दिगा में सम ध्रुवित हा जयवा D-दिगा में । जा कुठ हम अभी कह
चुन ह वह सब रिना रठिनाई क उम दसा में भी ठीक निक्लेगा जय निरल के समान
मम-तराय ध्रुवण विक्षेपक' क स्थान में किमी वृत्तीय जयवा दीध-वृत्तीय ध्रुवण
विक्षेपक का उपयोग रिया जाय ।

इम सब विवचन स यह परिणाम निक्लता है कि किमी प्रगा-तरग के आनुपगिक
फाटान के विषय में यह प्रदन नही पूछा जा सनता कि 'उस फाटान के ध्रुवण का तल
कौन-मा ह ? यह प्रदन अथहीन है और इमका काई तक-मगत उत्तर मभव ही नही ह ।

निधारित होती है और D की दिशा का सघटक तो प्रिज्म में से पार निकल जाता है किन्तु D की दिशा का सघटक रुक जाता है। यदि निकल को 90° घुमा दिया जाय तो हम यह समझ सकते हैं कि D तथा D' अक्षा की दिशाएँ तो बदली नहीं हैं, किन्तु अब सिर्फ D की दिशावाला सघटक ही प्रिज्म के पार निकल सकता है। अतः यदि प्रकाश-प्रचरण की दिशा से समकोणिक कोई भी दो अक्ष D तथा D' ऐसे लिये जायें जो परस्पर भी समकोणिक हों तो आपतित कम्पन D तथा D' की दिशाओं में विघटित किया जा सकता है और तब समुचित प्रकार से अनुयुक्त^१ निकल प्रिज्म उन दोनों सघटकों में से किसी एक को या दूसरे को उत्पन्न करके राक लेगा। यदि आपतित प्रकाश सम ध्रुवित न हो और उसका ध्रुवण अथ किसी प्रकार का हो तब भी घटना ऐसी ही रहेगी। प्रचरण की दिशा से लम्ब-रूप दो समकोणिक अक्षों की दिशाओं में किसी भी आपतित प्रकाश के ऐसे मध्य विघटन अनन्त प्रकार के हो सकते हैं क्योंकि ये दोनों अक्ष अपने समतल में अनन्त प्रकार से अनुयुक्त हो सकते हैं। निकल प्रिज्म द्वारा दो परस्पर समकोणिक दिशाओं में ध्रुवित प्रकाश रश्मियाँ का पथकरण इनमें से प्रत्येक विघटन के अनुरूप संभव है। अब फोटान के अस्तित्व को मानकर इसी घटना का विवरण कीजिए। मान लीजिए कि किसी ज्ञात ध्रुवण की तरंग से सम्बंधित फोटान-समूह निरल-प्रिज्म में प्रवेश करता है। इनमें से कुछ फोटान तो प्रिज्म के पार निकल जाते हैं और उससे बाहर निकलते ही वे D -दिशा में ध्रुवित तरंग में अनुपस्थित हो जाते हैं। जब फोटान प्रिज्म से रुक जाते हैं। तरंग सिद्धांत के अनुसार निगत प्रकाश-ऊर्जा का नाप आपतित कम्पन के D -दिशा के सघटक की तीव्रता^२ के द्वारा अथवा उसके आयाम^३ के वर्ग के द्वारा होता है और प्रिज्म द्वारा रुकी हुई प्रकाश-ऊर्जा का नाप समकोणिक सघटक की तीव्रता के द्वारा होता है। अतः हमें यह स्वीकार करना ही पड़ेगा कि जितने फोटानों का ध्रुवण निकल प्रिज्म में से निगत होना पर D -दिशा में होगा उनकी संख्या का और आपतित फोटानों की संख्या या अनुपात आपतित प्रकाश के D -दिशा के सघटक की तीव्रता के द्वारा नापा जा सकता है और जितने फोटान निरल में रुक गए उनका अनुपात उमम समकोणिक सघटक की तीव्रता द्वारा निर्धारित होता है। किन्तु यह मान लेने में कोई बाधा नहीं है कि इस प्रयोग में आपतित प्रकाश की तीव्रता अत्यन्त ही कम भी हो सकती है। तब प्रिज्म पर उत्तमतरंग फोटान के द्वारा पहुँचेगा। ऐसी दिशा में जमा कि हमें व्यतिकरण^४ की घटना के अध्ययन में

भी करना पड़ा था वैया ही अब भी करना पड़ेगा अर्थात् माध्यमिक दृष्टिकोण के स्थान में प्रायिकता के दृष्टिकोण का आश्रय लेना पड़ेगा और यह कहना पड़ेगा कि कोई आपतित फोटान निकलने से निगत होने के बाद D-दिशा में ध्रुवित दिखाई पड़ेगा इस बात की प्रायिकता का नाप भी आपतित प्रकाश-कम्पन के D-दिशिक घटक की तीव्रता के द्वारा ही होगा। हम अब भी यह कह सकते हैं कि प्रत्येक समवाणिक अभ्युगम D-D के लिए फोटान के सम ध्रुवण की दो सम्भाव्यताएँ हैं और इन दोनों सम्भाव्यताओं की अपनी-अपनी प्रायिकताएँ आपतित कम्पन के D तथा D दिशा-जावाल दाता घटक की तीव्रताओं द्वारा निर्धारित होती हैं। बिल्कुल स्पष्ट है कि जिन धारणाओं का हमने यांत्रिक राशियों के नाप के लिए स्वीकार कर लिया था ठीक उसी प्रकार की धारणाओं पर हम यहाँ भी पहुँच गये हैं। अब हम निकल प्रिज्म को एक ऐसा यंत्र समझ सकते हैं जिसके द्वारा हम यह जान सकते हैं कि आपतित फोटान D-दिशा में ध्रुवित था या D-दिशा में। और यदि आपतित फोटान की आनुपंगिक तरंग द्वारा निरूपित अवस्था जात होता भी सामान्यतः हम इस नाप के परिणाम की यथातथ्य प्रागुक्ति नहीं कर सकेंगे। केवल दाता सम्भाव्य परिवर्तनाओं की प्रायिकताएँ ही निर्धारित कर सकेंगे। और चूँकि D और D' अणु का चुनने के असह्य तरीके हो सकते हैं, अतः फोटान की प्रारम्भिक अवस्था में असह्य प्रकार के सम ध्रुवण भी सम्भाव्य रूप में विद्यमान रहते हैं ठीक उसी प्रकार जैसे जिस गणिता की आनुपंगिक तरंग एक वर्ण नहीं होती, उसकी एक ही अवस्था में भी ऊर्जा के अनेक मान सम्भाव्य रूप में विद्यमान रहते हैं। यह हो सकता है कि कुछ असाधारण स्थितियों में किसी फोटान पर निकल की प्रिया के परिणाम की यथातथ्य प्रागुक्ति सम्भव हो जाय। ऐसा तब ही होगा जब फोटान की प्रारम्भिक अवस्था ध्रुवण की दिशा D-D की दृष्टि से 'गुद्ध अवस्था' हो अथवा दूसरे शब्दों में जब आपतित तरंग या तो D-दिशा में सम ध्रुवित हो अथवा D-दिशा में। जो कुछ हम अभी कह चुके हैं वह सब बिना कठिनाई के उस दशा में भी ठीक निकलेगा जब निकल के समान सम-तलीय ध्रुवण विश्लेषक के स्थान में किसी वृत्तीय अथवा दीर्घ-वृत्तीय ध्रुवण विश्लेषक का उपयोग किया जाय।

इस सब विवेचन से यह परिणाम निकलता है कि किसी प्रकार के आनुपंगिक फोटान के विषय में यह प्रश्न नहीं पूछा जा सकता कि 'उस फोटान के ध्रुवण का तल कौन-सा है?' यह प्रश्न अशुद्ध है और इसका कोई तब-समय उत्तर सम्भव ही नहीं है।

हम केवल निम्नलिखित प्रश्न ही पूछ सकते हैं। "यदि किसी प्रयोग में सम-तन्त्र ध्रुवण-विश्लेषण का उपयोग किया जाय तो फोटॉन पर प्रकाश के प्रचरण से समकोणिक किसी विशेष दिशावाला सम ध्रुवण आरोपित होने की प्रायिकता कितनी है?" हम अभी देख चुके हैं कि तरंग सिद्धान्त इस प्रश्न का उत्तर किस प्रकार देता है और किस प्रकार यह उत्तर मूलतः तरंग फंक्शन को दो सघटकों में विघटित कर सकने की सम्भावना पर अवलम्बित है।

पाली ने यह निश्चार किया कि तरंग-यांत्रिकी में इलेक्ट्रॉन के नतन को निर्वह करने के लिए भी यह समझना आवश्यक होगा कि ψ -तरंग के भी दो सघटक होंगे। किंतु यह मानना आवश्यक नहीं है कि प्रकाश के समान ही यहां भी ये सघटक किंवा दिष्ट राशि के दो समकोणिक सघटक हैं। जिस प्रकार सामान्यतः किसी फोटॉन के सम ध्रुवण की दिशा ठीक-ठीक नहीं बतायी जा सकती उसी प्रकार यह भी नहीं कहा जा सकता कि इलेक्ट्रॉन के नतन की दिशा कौन-सी है। हम केवल इतना ही ज्ञाता लगा सकते हैं कि इलेक्ट्रॉन में किसी विशेष दिशावाले नतन के पाये जाने की प्रायिकता कितनी है। किन्तु हम ऊपर बता चुके हैं कि नतन में दिशा के अतिरिक्त एक अभिनिर्दिष्ट भी होनी है तथा इस नतन का मान सवेग घूर्णन के बराबर मात्रक के अघात जर्घा $\frac{h}{4\pi}$ के बराबर होता है। अतः पाली ने यह परिकल्पना बनायी कि प्रत्येक D के लिए दो समवर्त अभिदिशाओं के अनुरूप ही नतन के भी दो मान संभव हैं $\left(\pm \frac{h}{4\pi}\right)$ । यहाँ यह स्मरण रखना चाहिए कि ψ -तरंग अनुप्रस्थ नहीं होती। अतः यह आवश्यक नहीं है कि नतन की D -दिशा तरंग प्रचरण से समकोणिक ही हो। अतः हमें निम्नलिखित प्रश्न भी पूछने पड़ेंगे। 'इस बात की प्रायिकता कितनी है कि किसी प्रयोग के द्वारा इलेक्ट्रॉन के D -दैशिक नतन का मान $+\frac{h}{4\pi}$ निकले?' और "इस बात की प्रायिकता कितनी है कि किसी प्रयोग के द्वारा इलेक्ट्रॉन के D -दैशिक नतन का मान $-\frac{h}{4\pi}$ निकले?" प्रकाश के ध्रुवण की भाँति ही पाली ने यह परिकल्पना बनायी कि प्रत्येक दिशा D के लिए ψ -तरंग का विघटन दो सघटकों में किया जा सकता है और इन्हीं की तीव्रताओं से उस D -दिशा के नतन के दोना सम्भाव्य माना

$(\pm \frac{h}{\sqrt{2}})$ की अपनी अपनी प्रायिकताएँ निर्णीत हानी हैं। यदि D-दिशा बदल दी जाय तो स्वभावतः ही ψ -तरंग का विघटन भिन्न प्रकार का होगा, ठीक उसी तरह जम रि प्रकाश कम्पन का दा समवाणिक सघटका में विघटन विभिन्न समवाणिक अक्षयुग्मा व लिए विभिन्न प्रकार का होता है। पाली ने व दो यौगपदिक^१ अवकल समीकरण लिख दिये जिनको सन्तुष्ट करना किसी भी विशेष D-दिशा से सम्बन्धित ψ -तरंग के दाता सघटका के लिए आवश्यक है। और तब उन्होंने इस बात का अध्ययन किया कि D-दिशा का बदलने से इन दाता सघटका का रूपान्तर क्या होता है। ऐसा करने से उन्हें मालूम हो गया कि ψ -तरंग के दाता सघटका का रूपान्तर दिष्ट सघटका^२ के समान नहीं होता। भौतिक विज्ञान में यह (नतन कणिका की ψ -तरंग) ऐसी गणितीय सत्ता का पहला उदाहरण है जिसकी गणना टेन्सरा^३ के व्यापक वग म और फलतः दिष्टा^४ और अदिष्टा^५ में भी नहीं हो सकती बल्कि यह विदित ही है कि दिष्ट और अदिष्ट भी टेन्सर ही के विशेष प्रकार के रूप हैं। इस नवीन प्रकार की गणितीय सत्ता का अध्ययन कर लिया गया है और उसे अब दिष्ट^६ अथवा नातनिक नाम दिये गये हैं।

यहाँ हम पाली के सिद्धान्त की वैधानिक प्रक्रियाओं का विस्तृत वर्णन नहीं करेंगे। उसका उपयोग भी अधिक नहीं हुआ है बल्कि शीघ्र ही उसका स्थान डिरैक^७ के सिद्धान्त न ले लिया था। इसके अतिरिक्त पॉली का सिद्धान्त आपक्षिकीय भी नहीं है। अतः वह सामरफेल्ड द्वारा निर्दिष्ट जय में मूढम रचना की प्रागुक्ति के लिए भी उपयोगी नहीं है। किन्तु पॉली की धारणाएँ अधिन चिन्तारूपक थी। उन्हीं में इस बात का संकेत मिला था कि तरंग-यात्रिकी में नतन को निविष्ट करने के लिए किसी भी दिशा की दो समान्य अभिदिशाओं की प्रायिकता का विचार करना आवश्यक होगा। और यह भी आवश्यक होगा कि अकेले एकपदीय ψ -फलन के स्थान में अनेक सघटकावाला ψ -फलन प्रतिस्थापित करना पड़ेगा। यह डिरैक के प्रतिभापूण प्रयास का ही फल था कि उन्होंने इस अस्पष्ट ग्राम्प^८ का परिपूणता देने में सफरता प्राप्त कर ली।

४ डिरैक का सिद्धान्त^९

इसमें मदद नहीं कि डिरैक का पॉली के विचारा से सहायता मिली थी, किन्तु

1 Simultaneous 2 Vector Components 3 Tensors 4 Vectors 5 Scalars
6 Half vector ~ Spinor 8 Formalism 9 Dirac 10 Rough draft 11 The
Theory of Dirac

उनके सामने एक और भी पथ प्रदशक उद्देश्य था। उनकी इच्छा थी कि ऐसी आपक्षिकीय तरंग-यात्रिकी का निमाण किया जाय जा वास्तव में सन्तोषजनक हो। हम देय चुके हैं कि तरंग-यात्रिकी के निश्चयात्मक विकास के प्रारम्भ में ही एक ऐसा आपक्षिकीय तरंग-यात्रिकी का प्रस्ताव किया गया था जिसका मूल तरंग-समीकरण काल-सापेक्ष द्वितीय वण^१ का था। इसकी सूक्ष्म समीक्षा करने के बाद डिरक इस परिणाम पर पहुँचे कि यह प्रस्ताव स्वीकार करने के योग्य नहीं है। इसके विरुद्ध उनकी मुख्य आपत्ति यही थी कि इसमें प्रचरण का समीकरण काल की अपा द्वितीय वण का था। इस बात का परिणाम आपक्षिकताहीन तरंग-यात्रिकी से विपरीत यह निकलता है कि यदि ψ -तरंग के किसी प्रारम्भिक रूप द्वारा निर्दिष्ट कोई प्रारम्भिक अवस्था ज्ञात हो तो सम्पूर्ण प्रायिकता^२ की अपरिवर्तनीयता स्वतः ही सुनिश्चित नहीं हो जाती और संपूर्ण प्रायिकता की स्वतः उत्पन्न अपरिवर्तनीयता का प्रतिबंध इस बात के लिए आवश्यक है कि नवीन यात्रिकी के व्यापक नियमा का संरक्षण हो सके। प्रबल युक्तिपा से इस तथ्य का अनुसरण करके डिरक इस परिणाम पर पहुँचे कि आपक्षिकीय तरंग यात्रिकी के समीकरण अनिवार्यतः काल-सापेक्ष प्रथम वण के हाने चाहिए। फलन आकाश और काल की आपक्षिकीय समिति^३ के कारण ये समीकरण आकाशीय निर्देशांशों की अपेक्षा भी प्रथम वण के ही होने चाहिए। इसके बाद उन्होंने यह प्रमाणित कर दिया कि आपक्षिकीय तरंग-यात्रिकी में तरंग फलन के चार घटक हाने चाहिए जो आशिक व्युत्पत्ति के चार योगपदिक समीकरणों का सन्तुष्ट करेंगे और ये चार समीकरण आपक्षिकताहीन तरंग-यात्रिकी के अकेले एक प्रचरण-समीकरण का स्थान ले लेंगे। इसके लिए जिन युक्तियों का उन्होंने उपयोग किया था उनका विवरण वन की यहाँ आवश्यकता नहीं है। और अन्त में डिरक ने इस बात का पता लगाने का प्रयत्न किया कि निर्देशांक-तंत्र^४ में परिवर्तन करने में प्रचरण-समीकरणों और तरंग फलन के घटकों का रूपान्तरण कैसा होता है। यह आश्चर्य की बात है कि उन्होंने लोरेण्ट्ज़ रूपान्तरण की दृष्टि से इन समीकरणों को निश्चर^५ पाया। इससे तुरन्त ही उक्त सिद्धान्त आपक्षिकीय दृष्टिकोण से सन्तोषजनक हो गया। उन्होंने तरंग फलन के चारों घटकों के रूपान्तरण के सूत्रों का निमाण कर लिया। ये किसी दिक्वालीय द्रिष्टि-राशि के रूपान्तरण सूत्र नहीं थे, किन्तु जैसा कि आगे अधिक अच्छी तरह

1 Second order 2 Total probability 3 Symmetry 4 Coordinate system 5 Invariant

बनाया जाया, व नवीन प्रकाश व तापित्वाय' स्थानापन्न रूप धारित करने का परिचय पहले ही हो चुका था।

किन्तु डिग्री के सिद्धांत में यह एक अपरिचित सिद्धांत था।। तथापि उक्त सिद्धांत के समीकरण शुद्ध आपत्तिहीन तथा सामान्य तर्कों से प्राप्त मान लिए गये थे और उनमें नवन-परिष्कार का समावेश तथा भी हो चुका गया था तथापि उनमें स्वतः ही नवन और चुम्बकीय इलस्ट्राशन के मूलभूत गुण विद्यमान थे। प्रकृति में नवीन प्रचरण-समीकरणों में यह प्रमाणित होता जाता है कि इलस्ट्राशन का आवरण हीन ऐसा होगा माना उसका निजोत्पन्न प्रकीर्ण एक बाह्य भूतत्वात् से बराबर हो और निजोत्पन्न प्रकीर्ण मध्य प्रकीर्ण के बराबर माना से अधिकांश से बराबर हो। यद्यपि आधुनिक मंडलान्तर भौतिकी में जनन अभूत परिणाम प्राप्त हो चुके हैं, किन्तु जिन समीकरणों का प्राप्त करने में नवन की धारणा का प्रयोग भी उपयोग नहीं किया गया उन्हीं में से नवन की उत्पत्ति का गमन हो जाता अवश्य ही गमन के अर्थ में अभूत बात है।

अब हम यह बताने का प्रयत्न करेंगे कि डिग्री का सिद्धांत किस प्रकार पाग के सिद्धांत पर आश्रित है। डिग्री के सिद्धांत में यह अतिशय है कि ताप सम्बन्धी प्रकाश का पाग के द्वारा बताये हुए रूप में ही प्रकृति किया जाय। अतः हमारे सामने प्रश्न यह है कि किसी विशेष दिशा D के लिए नवन के तापमान माना में प्रकाश की प्राप्यता कितनी है। इस प्रश्न का उत्तर नवन में प्रकाश का जाता जल्द है कि यदि D-दिशा का Z-अक्ष मान लिया जाय तो $\frac{1}{2}$ प्रकाश मध्यमाना में किस प्रकार विद्यमान होगा। तब नवन के एक मान $+\frac{h}{2\pi}$ की प्राप्यता समझाया (द्वितीय और चतुर्थ) या मध्यमान की तीव्रता का ज्ञान के द्वारा प्राप्त होगी और दूसरे मान $-\frac{h}{2\pi}$ की प्राप्यता निम्न पदवी (प्रथम और तृतीय) या मध्यमान का तीव्रता का ज्ञान के द्वारा प्राप्त होगा। किन्तु डिग्री के समीकरणों की प्रथम परीक्षा में जानें कि यदि कणिका का एक प्रकाश-वर्ग का क्षेत्रफल समान हो तो प्रकाश के प्रकाश दा मध्यमान, पिछले या मध्यमान का तुलना में, अपरिणामिक होगा। इसी बात का दूसरा दृष्टान्त यह कि जब आपत्ति का प्रभाव का उपयोग

समझा जा सकता है तब दो सघटकावाले तरंग फलन का ही उपयोग पर्याप्त है और तब एक सघटक की तीव्रता में नतन के एक मान की प्राप्ति प्राप्त हो सकती है और दूसरे सघटक की तीव्रता से दूसरे समब मान की। ठीक यही ता पॉली के सिद्धान्त का रूप था। अतः हम पॉली के सिद्धान्त को डिरैक के सिद्धान्त का अपभ्रंशता रहित न्यूटनीय^१ सन्निकटन समझ सकते हैं। माय ही यह समझना भी आसान है कि डिरैक के सिद्धान्त में पॉली के सिद्धान्तवाले दो सघटका के स्थान में $\frac{1}{2}$ व चार सघटक बंधे हैं। नतन के अस्तित्व के लिए $\frac{1}{2}$ -फलन का दो सघटका में विघटित करना आवश्यक है और आपक्षिकता का अस्तित्व इन दोनों सघटका को पुनः दो-दो सघटका में विघटित कर देता है। न्यूटनीय सन्निकटन में इस दूसरे विघटन की कोई आवश्यकता नहीं होती। यहाँ हम यह और कह देना चाहते हैं कि नवीन यांत्रिकी का प्राथमिक-मूलक निबन्धन बड़ी सरलता से डिरैक के सिद्धान्त पर भी चलाया जा सकता है किन्तु तब उसकी संकत प्रणाली^२ कुछ अधिक जटिल हो जायगी।

और अब हम इस नवीन सिद्धान्त के उपयोग और सफलताओं का वर्णन करेंगे। सबसे पहले तो इसके द्वारा सूक्ष्म रचना की समस्या की अच्छी व्याख्या हो जाती है और यह सामरफेल्ड के सूत्र का औचित्य निश्चित रूप से प्रमाणित कर देता है तथा उन सूत्रों को संशोधित भी कर देता है। वास्तव में यदि डिरैक के समीकरणों के द्वारा हाइड्रोजन परमाणु के क्वांटमीकरण पर पुनः विचार किया जाय तो हम देखेंगे कि नतन द्वारा निरूपित अवयव के प्रादुर्भाव के कारण एक ऐसी नवीन क्वांटम समस्या निविष्ट हो जाती है जिसका पूर्ववर्ती सिद्धान्तों में कहीं पता भी नहीं था और जिसका उस 'आन्तरिक क्वांटम समस्या' से पूरा तादात्म्य है जो प्रेरित स्पेक्ट्रमीय पदों के वर्गीकरण के लिए वयों पहले केवल अनुभव के ही आधार पर निविष्ट किया गया था। इस प्रकार सूक्ष्म रचना का ऐसा सूत्र प्राप्त हो जाता है जिसका रूप तो ठीक सामरफेल्ड के सूत्र के सदृश ही है किन्तु जिसमें पुराने दिगशीर्ष क्वांटम-समस्या के स्थान में यह नवीन क्वांटम-समस्या प्रतिस्थापित कर दी गयी है। इस प्रतिस्थापन से ही सब बातें सुव्यवस्थित हो जाती हैं और सिद्धान्त अब प्रागुक्त द्विक रेखाओं का स्थान ठीक वही बताता है जहाँ प्रयोग द्वारा वे पायी जाती हैं, और जहाँ तक सरलकारी परिवर्तनाओं की सहायता से परिवर्तन संभव है वहाँ तक तो

अधिक भारी परमाणुओं के सम्बन्ध में भी यही परिणाम निकलता है। एककिरण-स्पेक्ट्रम की द्वि-रेखाओं के सम्बन्ध में जो कठिनाइयाँ थीं व भी दूर हो जाती हैं। इस प्रकार यह प्रमाणित हो जाता है कि सामरफ़ेल्ड ने जिस मूल धारणा के अनुसार सूक्ष्म रचना की व्याख्या करने के लिए क्वांटम सिद्धान्त में आपत्ति का निविष्ट किया था वह तो सही थी ही, किन्तु वास्तव में सत्तापप्रद परिणाम प्राप्त करने के लिए नतन का निरन्तर भी उतना ही जरूरी था। सामरफ़ेल्ड की प्रारम्भिक सफलता आकस्मिक नहीं थी। उनकी धारणाओं में केवल एक आवश्यक अवयव 'नतन' की कमी रह गयी थी।

डिरक का सिद्धान्त चुम्बकीय विपरीतताओं^१ के निवेदन में भी बहुत भाग्यशाली रहा। जीमान प्रभाव की समस्या में जिन असामान्य प्रभावों ने पूर्ववर्ती सिद्धान्तों का उल्लंघन में डाल दिया था उनके अस्तित्व का रहस्य इस सिद्धान्त द्वारा खुल गया। इस सफलता का कारण समझना आसान है। इन असामान्य प्रभावों की व्याख्या के लिए यह आवश्यक था कि किसी-न किसी प्रकार परमाणु के चुम्बकीय घूर्ण तथा मवेग घूर्ण के अनुपात का मान तयकथित सामान्य मान से भिन्न निर्धारित किया जाय। इस बात की धर्चा हम कई बार कर चुके हैं। यह सामान्य मान इस परिकल्पना पर आश्रित है कि परमाणु का चुम्बकीय घूर्ण केवल उसके इलैक्ट्रानों के वक्षीय परिभ्रमण से उत्पन्न होता है। ऊहलनबैक तथा गूडस्मिथ की परिकल्पना के अनुसार इलैक्ट्रान में इतने निजी चुम्बकीय घूर्ण का अस्तित्व स्वीकार कर लेने से कि जिसका इलैक्ट्रान के निजी मवेग घूर्ण से अनुपात सामान्य अनुपात से भिन्न (दुगुना) हो, डिरक के सिद्धान्त का सामान्य जीमान प्रभाव के चरित्र में मुक्त होने में और असामान्य प्रभावों की प्रागुक्ति करने में सफलता मिल गयी। और परिवर्तन के द्वारा तो सचमुच ही लैंडे^२ के सूत्रों का सद्वातिक समर्थन भी प्राप्त हो गया और असामान्य प्रभावों के विवरण में इस वक्तानिक न जिस गुणन ६ का बहुत कुछ जानु भविक रीति से ही निवेदन किया था उसके मान की भी यथातय प्रागुक्ति संभव हो गयी।

इस प्रकार डिरक की इस वास्तव में सुन्दर गवेषणा से कई आश्चर्यजनक परिणाम निकले हैं। जिन स्पेक्ट्रमीय तथा चुम्बकीय घटनाओं के समुदाय की व्याख्या प्राप्त करने के समस्त प्रयत्नों की असफलता ने नतन के निवेदन की आवश्यकता

१ Magnetic anomalies २ Lande

प्रयत्न की थी उनका, इसके द्वारा, सैद्धान्तिक निवचन-युक्त भौतिक तथ्या की सूची में सम्मिलित करना समभव हो गया। इन्होंने अधिकतम प्रशमनीय रीति से क्वाटम दृष्टिवाण का और ऊह्लेनबर्ग तथा गूडस्मिट की परिकल्पना का समन्वय कर दिया। प्रयत्न ही यह प्रश्न उठ सकता है कि इसके द्वारा क्वाटम धारणाओं और आपेक्षिकीय धारणाओं का समाधान और एकीकरण किन्ती दूर तक हो सका है क्योंकि क्वाटम धारणाएँ तो अनिवार्यतः असतत होती हैं और आपेक्षिकीय धारणाओं में सातत्य पूर्णतः अभिरक्षित है। यह प्रश्न कठिन है और अभी हम उसकी समीक्षा करना नहीं चाहते। हमें तो ऐसा ही जान पड़ता है कि अभी डिरैक के सिद्धान्त के द्वारा आपेक्षिकीय और क्वाटमीय धारणाओं का एकीकरण पूर्णतः मनापजनक नहीं हो सका है। किन्तु सब बातों को ध्यान में रखकर यही कहना पड़ेगा कि इस सिद्धान्त की रचना प्रशमनीय है और इलैक्ट्रान की तरंग-यात्रिकी का इस समय तो यही उत्कृष्ट रूप है।

डिरैक के सिद्धान्त के अर्थ उपयोगों की, यथा द्रव्य द्वारा विकिरण के प्रकीर्णन^१ की समस्या (क्लाइन और निशिना^२ के सूत्र) का विवचन न करके अब हम डिरैक के समीकरणों के एक विश्लेषण परिणाम पर विचार करेंगे जो प्रारम्भ में तो इस सिद्धान्त का दूषण जान पड़ता था, किन्तु अन्त में जो उसके लिए बहुत हिनकारी प्रमाणित हुआ था।

५ ऋणात्मक ऊर्जावाली अवस्थाएँ तथा घन-इलैक्ट्रान^३

डिरैक के सिद्धान्त के समीकरणों में एक विश्लेषण गुण यह है कि उनके ऐसे हल भी समभव हैं जिनके द्वारा आनुप्रासिक कणिका की ऐसी अवस्थाएँ व्यक्त होती हैं जिनमें ऊर्जा ऋणात्मक होती है। यदि इलैक्ट्रान ऐसी ही किसी अवस्था में विद्यमान हो तो उसमें कुछ अद्भुत लक्षण दिखाई देंगे। उसके वेग में वृद्धि करने के लिए उसमें से कुछ ऊर्जा का निकाल लेना पड़ेगा। विपरीततः उसका वेग घटाने के लिए और उसे स्थिर कर देने के लिए उस कुछ ऊर्जा और देना पड़ेगा। किन्तु किसी भी प्रयोग में कभी भी इलैक्ट्रान का ऐसा अद्भुत आचरण नहीं देखा गया और यह विश्वास करने के भी समुचित कारण हैं कि डिरैक का सिद्धान्त जिन ऋणात्मक ऊर्जावाली अवस्थाओं को समभव बताता है उनका अस्तित्व प्रकृत जगत में वस्तुतः

पॉली के अपवजन नियम^१ के अनुसार (जिसका वर्णन अगले परिच्छेद में किया जायगा) किसी भी अवस्था विशेष में इलेक्ट्रानों की संख्या एक से अधिक नहीं हो सकती। यह देखकर उन्होंने यह परिवर्तन बनायी थी कि विश्व की सामान्य अवस्था में इलेक्ट्रान ऋणात्मक ऊर्जावाली समस्त अवस्थाओं में विद्यमान रहते हैं। इसमें यह परिणाम निश्चित है कि ऋणात्मक ऊर्जावाले इलेक्ट्रानों का घनत्व सर्वत्र एक-सा होता है। डिरैक की धारणा के अनुसार ऐसा एक-समान घनत्व प्रेक्षणयोग्य नहीं हो सकता। किंतु ऋणात्मक ऊर्जावाली समस्त अवस्थाओं का भरने के लिए जितने इलेक्ट्रानों की आवश्यकता है उससे अधिक इलेक्ट्रान जगत में विद्यमान हैं। ये बचे हुए इलेक्ट्रान ही धनात्मक ऊर्जावाले होते हैं। और ये ही हमारे प्रयोगों में प्रकट होते हैं। कुछ असाधारण स्थितियों में किसी बाह्य कारण से संचालित होकर ऋणात्मक ऊर्जावाले इलेक्ट्रान धनात्मक ऊर्जा की अवस्था को प्राप्त कर सकता है। उसी समय प्रायोगिक इलेक्ट्रान का आवर्त्मक प्रादुर्भाव होता है और उसी समय ऋणात्मक ऊर्जावाले इलेक्ट्रानों के वितरण में एक गति बन जाता है। डिरैक ने प्रमाणित कर दिया कि ऐसा गति प्रयोग द्वारा प्रेक्ष्य होता चाहिए और उसका आचरण विलंबित होता चाहिए मानो वह इलेक्ट्रान के बराबर द्रव्यमानवाली कणिका हो और उसमें विद्युत की मात्रा इलेक्ट्रान के आवेश के बराबर किन्तु विपरीत चिह्नीय हो, अर्थात् उस प्रति इलेक्ट्रान^२ अथवा धनात्मक इलेक्ट्रान के रूप में प्रकट होता चाहिए। इसके अतिरिक्त इस आवर्त्मक गति को धनात्मक ऊर्जावाले इलेक्ट्रान से भर जाने में अधिक देर भी नहीं लगेगी। इस इलेक्ट्रान का सन्निवेश स्वतः ही हो जायगा और जो ऋणात्मक ऊर्जावाली अवस्था क्षण भर के लिए खाली हो गयी थी उसमें वह जा पहुँचेगा और उसकी ऊर्जा विकिरण^३ के रूप में उत्सर्जित हो जायगी। इस प्रकार डिरैक ने ऋणात्मक ऊर्जावाली अवस्थाओं की अपेक्षयता की भी व्याख्या कर दी और साथ ही धनात्मक इलेक्ट्रानों के सम्बन्ध, किंतु असाधारण और क्षणिक अस्तित्व की प्रागुक्ति भी कर दी।

डिरैक की परिवर्तन सचमुच विलक्षण थी किंतु सूक्ष्म विचार के अभाव में यह कृत्रिम-सी ही जान पड़ी। अधिकतर भौतिकियों के मन में तो शायद इस पर विश्वास होता ही नहीं यदि तुरन्त ही प्रयोग द्वारा उन धन इलेक्ट्रानों का अस्तित्व प्रमाणित न हो गया होता जिनके सामान्य लक्षणा की प्रागुक्ति डिरैक ने कुछ ही समय पहले की थी। १९३२ में पहले तो ऐडरमन^४ के और बाद में ब्लेक और

1 Exclusion principle 2 Hole 3 Anti electron 4 Radiation

5 Anderson

आरियालिनी^१ के सुन्दर प्रयागा ने मचमुच प्रमाणित कर दिया कि जब अतिरिक्त विरणा^२ व द्वारा परमाणुआ का विघटन^३ होता है तब कुछ ऐसी कणिकाएँ भी प्रकट होती हैं जिनका आचरण मिलकुल धन द्रव्यकटाना के समान होता है। यद्यपि उम समय यह पूरा द्रव्यतापूर्वक नहीं कहा जा सकता था कि इन नवीन कणिकाआ का द्रव्यमान इल्वटाना के द्रव्यमान के ही बराबर होता है और उनका आवेश भी इल्वटान-आवेश के बराबर किन्तु विपरीत चिह्नीय होता है तथापि बाद में रिये गये प्रयागा ने इस समानता का अधिकाधिक प्रायिक प्रमाण दिया था। इसके अनिश्चित इन धन इल्वटाना में यह प्रवृत्ति भा पाया गयी कि द्रव्य के संपर्क में आने पर वे गीघ्र ढी विलुप्त हो जाते हैं और उनका स्थान में विविरण उत्पन्न हो जाता है। यीगा^४ और जालिआ^५ व प्रयागा के द्वारा इस विषय में कोई सन्देह शेष नहीं रह जाता। धन इल्वटाना की उत्पत्ति का जमाधारण दग और उनकी विलुप्त होने की शक्ति ये दाना ही के लक्षण हैं जिनकी प्रागुक्ति डिरक ने पहले ही कर दी थी। अतः अब स्थिति उलट गयी है क्योंकि डिरक के समीकरणों को सत्य में डालना तो दूर रहा अब तो उनके ऋणात्मक उजावाड़े हला का अस्तित्व उल्टे यह बतलाता है कि इन समीकरणों में धन द्रव्यकटाना का अस्तित्व और उनके लक्षण भी निहित हैं।

इतना होने पर भी हमें स्वीकार करना पड़ता है कि डिरक की गतिशाली धारणा का कई अत्यन्त गंभीर कठिनाइया का सामना करना पड़ता है—विशेषकर गूयाना^६ के विद्युत चुम्बकीय गुणा के सम्बन्ध में। हमें तो इस बात की संभावना अधिक दिवाई गयी है कि डिरक के सिद्धान्त का ऐसा रूपान्तरण अवश्यम्भावी है जिससे दाना प्रकार के इल्वटाना में अधिक समिति स्थापित हो जाय और गतों की धारणा का लप होकर तत्सम्यग्धी कठिनाइया दूर हो जायें। इस विषय का विवेचन हम अगले परिच्छेद में करेंगे। जो भी हो इस बात की सत्यता में सन्देह नहीं हो सकता कि जिन धन इल्वटाना का अज पाजीटान^७ कहते हैं उनके प्रायोगिक आविष्कार ने डिरक की यानिकी की मूल धारणाआ का नवीन और अत्यन्त विलक्षण समर्थन कर दिया है। डिरक के समीकरणों की कुछ वदनेयिक विशेषताआ के सूक्ष्म निरीक्षण से जो दोनो प्रकार के इल्वटाना की समिति प्रकट होती है वह निश्चय ही अत्यन्त महत्वपूर्ण है और इसमें सन्देह नहीं कि भौतिक सिद्धान्तों के भविष्य विकास में इसका महत्वपूर्ण हाथ रहेगा।

^१ Blackett and Occhialini ■ Cosmic rays ' Disintegration ' Thi
^२ and J. Joliot ■ Positron

वारहवाँ परिच्छेद

निकायो की तरंग-यात्रिकी और पॉली का नियम

१ कणिका निकायो की तरंग-यात्रिकी^१

अब तक तो हमने नवीन यात्रिकी में केवल उसी स्थिति का अध्ययन किया था जिसमें अकेली एक ही कणिका किसी बल-क्षेत्र में गमन करती है। और कभी-कभी तो हमने प्रच्छन्न रूप से यह भी मान लिया था कि निकाया के लिए भी उसी तरह का नियम उपयुक्त है क्योंकि भौतिक विज्ञान कणिका नियमों की मूल भौतिक सत्ताओं का वस्तुतः असातत्य-मूलक समझता है। अब हमें यह स्पष्ट करना चाहिए कि निकाया की तरंग-यात्रिकी की स्थापना कैसे हुई है।

प्रारम्भ में ही यह कह देना उचित है कि वास्तव में 'निकाय' उसे कहते हैं जिसकी कणिकाओं में पारस्परिक क्रियाएँ विद्यमान हों। इनके अभाव में तो कणिकाएँ अलग-अलग ही समझी जा सकती हैं, और तब तो इसमें और अकेली कणिका में कोई फर्क ही नहीं हो सकता। यह बात पुरानी और नवीन दोनों ही यात्रिकियों में मान्य है।

अब हम यह स्मरण कर देना चाहते हैं कि चिरप्रतिष्ठित यात्रिकी ने परस्पर क्रियाशील कणिकाओं के निकाय की गति की समस्या का किस प्रकार हल किया था। पहले तो प्रत्येक कणिका के लिए न्यूटन का वह मूल समीकरण लिख दिया गया जिसके द्वारा द्रव्य बिन्दु के त्वरण और उस पर लगनेवाले बल की आनुपातिकता व्यक्त होती है, और पारस्परिक क्रिया का अस्तित्व मान लेने के कारण यह भी प्रकट है कि प्रत्येक कणिका पर जो बल लगता है वह समस्त अन्य कणिकाओं के स्थानों पर भी अवलम्बित होगा। अतः जो समीकरण प्राप्त हुए थे उन्हें योगपदिक अवकल समीकरण^२

1 The Wave Mechanics of Systems of Corpuscles 2 Interactions
3 Simultaneous differential equations

मानता परेगा। यदि समन्वयित कार्तीय निर्देशांक पद्धति¹ का अनुगमन करते ये समीकरण स्पष्टन² लिख जाय तो उत्तरी मर्याद गणितात्मा की मर्याद में तीन गुनी होगी क्योंकि प्रत्येक कणिका के निर्देशांक तीन हाने हैं। परन्तु समीकरणों का हल करना सभ्य होता है तब हमें एक व्यंजक³ प्राप्त होता है जिसमें प्रत्येक निर्देशांक मात्र के फलन के रूप में व्यक्त होता है। अतः तब हम तब प्रवाह में प्रत्येक गणितात्मा के स्थान और उसकी गति का अनुगमन कर सकते हैं और तब प्रारम्भिक क्षण पर कणिकाओं के स्थान और या अतः निवाय के तन्वयित विभाग⁴ और गति प्राप्त हाने पर जा समीकरण प्राप्त हाने उत्तर प्राप्त पूर्ण निर्णय होगा। इस प्रकार निवाया की चित्रप्रतिष्ठित यात्रिकी में यात्रिकीय नियमितवाक्य की मर्यादा प्रमाणित हो जाती है।

निवाया की चित्रप्रतिष्ठित यात्रिकी के विभाग का विस्तृत विवरण तो हम यहाँ नहीं देंगे, किन्तु केवल यही कह देना चाहते हैं कि इन गति-समीकरणों का हल करना ही सभ्य है और जा परिस्थितियाँ बहुत हमारे सामने आती हैं तब हम उन्हें लाग्रान्ज⁵ और हमिल्टन⁶ के सुविख्यात समीकरणों का रूप दिया जा सकता है। इस विषय का विवरण हम प्रथम परिच्छेद में कर चुके हैं। किन्तु गति-समीकरणों के इन अधिन अमूर्त रूपों के लिए निवाय का एक नवीन ज्यामितीय निरूपण अधिन उपयुगी है। निवाय की प्रत्येक कणिका का प्रत्येक क्षण पर कोई स्थान निर्दिष्ट करके उस निवाय का तीन विभिनिया वाले भीति आराग में निरूपित न करके हम यह भी कर सकते हैं कि समस्त कणिकाओं के निर्देशांकों को एकत्र करके ऐसे अमूर्त आकाश की रूपना कर दें जिसकी विभिनिया की मर्याद कणिकाओं की मर्याद में तीन गुनी है। यदि कणिकाओं की गति की स्वतंत्रता पर कुछ प्रतिबंध लगे हों तो विभिनिया की मर्याद कम भी हो सकती है। इस अमूर्त आकाश में, जिसे विद्यासा-कार⁷ भी कहते हैं निवाय की प्रत्येक अवस्था एक बिंदु द्वारा निरूपित होती है जिसके निर्देशांक निवाय की समस्त कणिकाओं के निर्देशांकों के बराबर हाने हैं। काल-प्रवाह में इस निवाय का जा परिणामन होगा वह इस निरूपक बिंदु के विद्यासाक्षीय विस्थापन के द्वारा व्यक्त होगा। अतः समस्त यात्रिकीय समस्या केवल इस निरूपक-बिंदु की गति और गमन-पथ के परिणामन की ही समस्या हो जाती है और चिर-

1 System of rectangular Cartesian coordinates 2 Explicit 3 Exp-
ressions 4 Configuration 5 Lagrange 6 Hamilton 7 Dimensions
8 Configuration space

प्रतिष्ठित यांत्रिकी द्वारा प्राप्त समीकरण-समूह को हम इस निरूपक बिन्दु के गति समीकरण समझ सकते हैं। इस प्रकार हमने त्रिविमितीय^१ भौतिक आकाश में बहु सार्वत्रिक बिन्दुओं की गतियों के अध्ययन को कल्पित विद्यासाकाश में केवल एक ही बिन्दु की गति के अध्ययन का रूप दे दिया है। अब यांत्रिक नियतिवाद का सरलता से हम यों व्यक्त कर सकते हैं कि यदि विद्यासाकाश में इस निरूपक बिन्दु के प्रारम्भिक स्थान और वेग ज्ञात हों तो उसकी भविष्य गति पूर्णतया निश्चित या नियत होती है।

यदि निकायों की गति विज्ञान में याकोबी के प्रमेय^२ का उपयोग करता हो तो विद्यासाकाश का उपयोग अनिवार्य हो जाता है। भौतिक निवचन के अनुसार हम मिद्धान्त का मूल उद्देश्य यह है कि उपस्थित समस्या की सभाव्य गतियों का ऐसा वर्गीकरण कर दिया जाय कि प्रत्येक वर्ग की समस्त सभाव्य गतियाँ में तथा किसी एक ही तरंग-प्रचरण की समस्त किरणों में आनुसृत्य स्थापित हो सकें। यह तो स्पष्ट ही है कि यदि समस्त गतिशील कणिकाएँ भौतिक आकाश में निरूपित की जायें तो गमन-पथा की बहुलता के कारण ऐसा आनुसृत्य स्थापित करना असम्भव है, किन्तु विद्यासाकाश में यह आनुसृत्य स्थापित करना आसान है क्योंकि इस आकाश में निकायों की प्रत्येक गति निरूपक बिन्दु के एक ही गमन-मार्ग से निर्दिष्ट होती है। फलतः याकोबी के सिद्धांत के द्वारा हम निकायों की सभाव्य गतियों का अर्थात् विद्यासाकाश में निरूपक बिन्दु की सभाव्य गतियों का ऐसा वर्गीकरण कर सकते हैं जिसमें निरूपक बिन्दु के गमन-मार्गों का एक वर्ग ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान के समान ही तरंग-प्रचरण की किरणों को विद्यासाकाश में निरूपित कर दें। इस बहुविमितीय आकाश में तरंग-प्रचरण का ज्यामितीय प्रकाश-वैज्ञानिक समीकरण यही याकोबी का समीकरण होगा जो निकायों की समस्त कणिकाओं के निर्देशांकों पर अर्थात् विद्यासाकाश के समस्त निर्देशांकों पर आश्रित होगा। 'यूनितम नियम' का नियम तब फरमा के नियम के ही तुल्य जान पड़ेगा। यह भव्य हम प्रथम परिच्छेद के चौथे खण्ड में पहले ही बता चुके हैं।

चूंकि याकोबी का सिद्धांत और 'यूनितम नियम' का नियम पुरानी यांत्रिकी से तरंग-यांत्रिकी तक पहुँचने का राजमार्ग साफ़ देते हैं इसलिए हम आगे कर सकते हैं कि 'गामद' तरंग-यांत्रिकी का विकास भी विद्यासाकाश के ढाँचे में ही हो सके और ठीक यही हुआ भी है। जिस विधि से ग्राडिअन्ट का एक किरण का प्रचरण-समाचरण

प्राप्त करने में सफलता मिली थी उसीके व्यापकीकरण के द्वारा निनाय की ϕ -तरग का प्रचरण समीकरण को वियासाकाश में प्रस्तुत करने में भी उन्हें सफलता मिल गयी। यह समीकरण इस प्रकार निर्मित हुआ है कि यदि ज्यामितीय प्रकार विज्ञान का सन्निकटन ठीक समझा जाय तो हमें पुनः यात्रिकी का समीकरण प्राप्त हो जाता है। किन्तु यहाँ ϕ -फलन परिणामनशील काल के अतिरिक्त निकाय की समस्त कणिकाओं का समस्त निर्देशांक पर भी अवलम्बित होना है और उसका प्रचरण वियासाकाश में होता है। अतः इसमें ϕ -तरग का सावैतिक रूप एक कणिका सम्बन्धी ϕ -तरग की अपेक्षा और भी अधिक स्पष्ट हो जाता है। तब यह बात विचित्र भी मालूम पड़े कि निकाय का गति-सम्बन्धी विवेचन त्रिविमीतीय आकाश में नहीं हो सकता और इस काम के लिए हमें अनिवार्य काल्पनिक वियासाकाश को माध्यम बनाना पड़ता है। चिरप्रतिष्ठित यात्रिकी में बहुधा वियासाकाश सुविधाजनक तो होता है किन्तु उसका उपयोग ऐच्छित होता है क्योंकि निकाय की समस्त कणिकाएँ भौतिक आकाश में भी सदैव निरूपित हो सकती हैं। तरग-यात्रिकी में वियासाकाश के अनिवार्य उपयोग के कारण इस पुस्तक के लेखक का मन बहुत समय से चिन्ताकुल रहा है और आज भी वह यही जाना करता है कि किसी दिन निकाय की तरग-यात्रिकी के नियम कुछ कम कृत्रिम रूप में व्यक्त हो सकेंगे और हम भौतिक आकाश और कणिकाओं की प्रचलित धारणाओं के स्थान में ऐसी धारणाएँ स्थापित कर सकेंगे जो वास्तविकता के लिए अधिक उपयुक्त हों।

जा भी हो इस समय तो निकाय की तरग-यात्रिकी वियासाकाशीय तरग प्रचरणा के द्वारा ही व्यक्त की जाती है और हम देखेंगे कि उसकी विधियाँ सफलता भी मिली हैं। निनाय का क्वांटमीकरण करने के लिए यह मालूम किया जाता है कि ऊँचा के किन मान के लिए (जा तरग की आवृत्ति का h से गुणा करने से प्राप्त होता है) वियासाकाश में म्यावर ϕ -तरग का अस्तित्व संभव है अथवा या नहीं।

अमेरी अनुवादकर्ता की टिप्पणी—जिन निकायों में सब कणिकाएँ एक ही प्रकार की हैं उनमें क्विंट वियासाकाश के अनिवार्य उपयोग से अन्तिक्वांटमीकरण (Super Quantisation) अथवा द्वितीय क्वांटमीकरण (Second Quantisation) के द्वारा छुटकारा मिल सकता है। यह सिद्धि इस बात पर आश्रित है कि हम निकाय के विकास में कणिकाओं की संख्या सदा पूर्ण की ही रहेगी। क्विंट आकाश का निरसन ट्रि-सॉल्यूशन (Double Solution) के उस नवान्ति मिथ्यात्व की भी यही सफलता समझा जायगा जिसका विवेचन परिच्छेद १० खंड ६ में किया गया था।

वि प्रचरण-समीकरण के इष्टमान^१ मालूम किये जाते हैं और इन ब्वाटमित निम्नाया के लिए इष्टमाना के अमरतत स्पेक्ट्रम^२ प्राप्त हा जाते हैं और इनके अनुरूप इष्ट फलना^३ की भी एक पूरी सहति^४ प्राप्त हा जाती है और इसी प्रकार तरंग-यात्रिकी के भौतिक निवचन वा भी व्यापकीकरण तुरन्त ही हो जाता है। विन्यासावाग के प्रत्येक बिन्दु पर ϕ -तरंग की तीव्रता इस बात की प्रायिकता का व्यक्त करेगी कि निक्वाय की कणिकाओं के स्थान निम्नायक प्रयोग में उस निम्नाय वा विन्यास वही निम्नले जा उस बिन्दु द्वारा निरूपित हुआ हो। और इसी तरह ऊर्जा के इष्ट फलना के रूप में तरंग फलन के स्पेक्ट्रमीय विघटन द्वारा जो सघटक प्राप्त होंगे उनकी आगिक तीव्रताएँ यह व्यक्त करेंगी कि यथातथ मापी प्रयोग से ऊर्जा का मान हमिल्टोनियन^५ के विभिन्न इष्ट माना के बराबर पाये जाने की प्रायिकताएँ कितनी कितनी हैं। संक्षेप में प्रायिकता-मूलक निवचन के समस्त नियम ज्या के-स्या बन रहेगे। अधिक विस्तार में न जाकर हम यह भी कह दना चाहते हैं कि निक्वाय के गुहत्व क्षेत्र की परिभाषा भी हो सकती है और कीनिंग^६ के प्रमेय के सदृश "गुह यात्रिकी" के चिरप्रतिष्ठित प्रमेय के अनुरूपी प्रमेय भी तरंग-यात्रिकी में विद्यमान ह।

श्रोडिंजर की गवेपणाओं से निक्वाय की तरंग-यात्रिकी का जो रूप हमें प्राप्त हुआ है वह आपेक्षिकीय नहीं ह। वह गूढ़नीय निक्वाय-यात्रिकी का ही तरंगीकरण^७ है, आइन्स्टाइन की निक्वाय-यात्रिकी का नहीं, और इसका समुचित कारण यह है कि निक्वाय की आपेक्षिकीय यात्रिकी का अभी तक निश्चिन्त रूप से निर्माण हुआ ही नहीं। निक्वाय की गति के परिशुद्ध परिकलन के लिए आपेक्षिकीय यात्रिकी की असमथता के कई कारण हैं, जिनमें विशेष उल्लेखनीय यह ह कि आपेक्षिकता का सिद्धान्त दूरत सप्त तत्त्वणिक नियम^८ का अनिवार्यत निषेध करता ह। डिरैक की आपेक्षिकीय तरंग-यात्रिकी किसी नात बल क्षेत्र में स्थित केवल जवेली कणिकाओं के लिए उपयोगी ह। निक्वाय के लिए उसका व्यापकीकरण कठिन समस्या है जिसका पूर्ण हल प्राप्त करना अभी बहुत दूर की बात है।

खंड ४ में हम निक्वाय की तरंग-यात्रिकी के कई सुन्दर उपयोगों पर विचार करेंगे। किंतु उससे पहले उस महत्वपूर्ण निक्वाय का अध्ययन आवश्यक है जिसमें

1 Proper values 2 Discontinuous spectra 3 Proper functions 4 Set
 5 Hamiltonian 6 Koenig 7 Rational Mechanics 8 Waving 9 Instantaneous action at a distance

नवीन यात्रिकी की कुछ पूर्णतः लाक्षणिक परिस्थितियाँ उत्पन्न हो जाती हैं। ऐसे निकाय की समस्त कणिकाएँ विल्कुल एक-सी होती हैं।

२ एक-सी कणिकाओं के निकाय और पॉली का नियम^१

जिस विषय का विवेचन हम अब करेंगे उसमें उम्र सबथा नवीन किन्तु आवश्यक धारणा का आधिपत्य है जिसका प्रादुर्भाव क्वाटम सिद्धान्त में उस समय हुआ था जब सांख्यिकीय यात्रिकी में निया के क्वाटम का निवेशन वाछनीय हो गया था। हम खंड ५ में समझायेगे कि यह निवेशन किस प्रकार निया गया था। किन्तु इस समय तो हम इतना ही बतायेंगे कि इससे कौन-सी धारणा का जन्म हुआ। पारमाणविक भौतिक विज्ञान में सदैव यह बात मान ली गयी थी कि एक ही जाति की दो कणिकाएँ (यथा दो इलैक्ट्रॉन) विल्कुल एकात्मक^२ होती हैं। फिर भी यह अभिन्नता इतनी पूर्ण नहीं मानी जाती थी कि उन दोनों एकात्मक कणिकाओं में विभेद—कम से कम विचार में भी—संभव हो न सके। इसी कारण से सांख्यिकीय परिकल्पनाओं में एक ही निकाय की ऐसी दो अवस्थाएँ भिन्न समझी जाती थी जिनमें केवल इतना ही भेद हो कि उनमें एक ही जाति की दो कणिकाओं के कार्यों का पक्षान्तरण^३ हो गया हो। फलतः जब इलैक्ट्रॉनों द्वारा निर्मित किसी निकाय पर विचार किया जाता था तो निकाय की जिस सामूहिक अवस्था^४ में प्रथम इलैक्ट्रॉन की व्यक्तिगत अवस्था क हो तथा द्वितीय इलैक्ट्रॉन की व्यक्तिगत अवस्था ए हो वह उस सामूहिक अवस्था से भिन्न समझी जाती थी जिसमें प्रथम इलैक्ट्रॉन की व्यक्तिगत^५ अवस्थाएँ तो ज्या की-त्या रहे, किन्तु प्रथम इलैक्ट्रॉन की अवस्था ख हो जाय तथा द्वितीय की अवस्था क हो जाय। क्वाटम-सांख्यिकी के विकास ने एक ही निकाय में विद्यमान एक ही जाति की दो कणिकाओं में विभेद करने की संभावना का पूर्णतः निषेध कर दिया है और किसी निकाय की जिन दो अवस्थाओं में केवल दो एक-सी कणिकाओं के पक्षान्तरण का ही भेद है उन्हें एकात्मक और अविभेद्य^६ स्वीकार कर लिया है। इस बात पर हम बाद में विचार करेंगे कि मूल-कणिकाओं में "व्यक्तित्व" के इस अभाव का अर्थ क्या है। इस समय तो हम केवल इसके परिणाम पर ही विचार करेंगे।

निकायों की तरग-यात्रिकी में एक ही जाति की कणिकाओं के पक्षान्तरण के

१ Systems Containing Particles of the Same Nature Pauli's Principle

२ Identical ३ Transposition ४ Collective state ५ Individual ६ Indistinguishable " Individuality

अत्यंत महत्वपूर्ण परिणाम होत है। मान लीजिए कि किसी निकाय में समस्त कणिकाएँ एक ही जाति की हों और मान लीजिए कि इस निकाय के समान्य तरंग फलना में स एक ψ है। परिभाषा के अनुसार यह तरंग फलन दो कणिकाओं की अपेक्षा समित¹ तब कहलाता है जब उन दोनों कणिकाओं के निर्देशांक का पदान्तरण करने से भी उससे व्यंजक के मान में कोई परिवर्तन नहीं होता। विपरीत इसके यदि दो कणिकाओं के निर्देशांक के पदान्तरण से उसके व्यंजक का मान तो न बदले, किन्तु केवल उसका चिह्न ही बदल जाय तो वह फलन दो कणिकाओं की अपेक्षा प्रति-समित² कहलाता है। यहाँ यह बता देना आवश्यक है कि सामान्यतः तरंग फलन न तो समित होता है और न प्रति-समित। किन्तु एक ही जाति की दो कणिकाओं की विनिमयता³ के द्वारा निम्नलिखित प्रमेय सिद्ध किया जा सकता है। 'यदि किसी निकाय में कणिकाएँ एक ही जाति की हों तो सदैव कुछ तरंग फलन ऐसे विद्यमान रहते हैं जो एक ही जाति की कणिकाओं के समस्त युग्मों की अपेक्षा या तो समित हों या प्रति-समित।' निकाय का जिस अवस्था का तरंग फलन समित हो उसे हम 'समित अवस्था' कहेंगे और जिसका तरंग फलन प्रति-समित हो उसे हम 'प्रति-समित अवस्था' कहेंगे। 'पारस्परिक क्रिया विभव' प्रत्येक कणिका युग्म पर समित अवलम्बित होते हैं। इस तथ्य के द्वारा एक दूसरा प्रमेय भी सिद्ध किया जा सकता है जो प्रथम प्रमेय की अपेक्षा कम महत्व का नहीं है। "किसी निकाय का समित अवस्था से प्रति-समित अवस्था में अथवा प्रति-समित अवस्था से समित अवस्था में सन्तुलन कराना संभव नहीं है।" दूसरे शब्दों में यह संभव नहीं है कि एक ही प्रकार की अवस्थाओं के समान ही विसदृश अवस्थाओं का भी मिश्रण⁴ के अर्थ में संयोजन⁵ हो सके। इससे यह परिणाम निकलता है कि एक ओर तो समित अवस्थाओं का समूह और दूसरी ओर प्रति-समित अवस्थाओं का समूह एक दूसरे से स्वयं पृथक् है और इन दोनों समूहों में किसी प्रकार का संपर्क संभव नहीं है। अतः तरंग-यंत्रिका का इस नियम से गैर बैठ सकता है कि वास्तव जगत में अमुक प्रकार की कणिकाओं की केवल समित अवस्थाएँ और अमुक प्रकार की कणिकाओं की केवल प्रति-समित अवस्थाएँ ही पायी जाती हैं क्योंकि काळ के प्रारम्भ में जिस किसी अवस्था का अस्तित्व था वह अवस्था सदा वसी ही बनी रही

1 Symmetrical 2 Antisymmetrical 3 Interchangeability 4 Interaction potentials 5 Transition 6 Rise and Combination

ह और सदा यमी ही बनी रहगी। यह नियम तरंग-यात्रिकी का परिणाम नहीं है क्योंकि उसमें ता दोना ही प्रसार की अवस्थाओं के लिए स्थान है। किन्तु इसका तरंग-यात्रिकी में कोई विरोध भी नहीं है। अब हम यह स्पष्ट करेंगे कि पाली का ऐम नियम के अस्तित्व की कल्पना कम से कम इलक्ट्रानों के लिए क्या करनी पड़ी।

परमाणु की संरचना का अध्ययन करते समय हम चौथे परिच्छेद के चौथे पृष्ठ में ऊर्जा-स्तरों की संतृप्ति की घटना की ओर ध्यान आकर्षित कर चुके हैं और उसके मौलिक महत्त्व पर जोर भी दे चुके हैं क्योंकि तत्त्वा के अनुक्रम में परमाणु-संरचना के उत्तरात्तर विकास पर जोर इन तत्त्वा के रासायनिक प्राणाधिक तथा चुम्बकीय गुणों की समस्त विभिन्नताओं पर इसी घटना का आधिपत्य है। हम यह भी बता चुके हैं कि परमाणु में नये इलक्ट्रानों के सम्मिलित होने से किस प्रकार ऊर्जा-स्तर उत्तरात्तर संतृप्त हो जाते हैं। इस बात का जानुभविक नियम भी हमें बताया है। इसका संक्षिप्त नियम स्टोनर^३ ने प्रस्तुत किया था। किन्तु प्रारम्भ में उसका सैद्धांतिक समर्थन अच्छी तरह से नहीं हो सका था। किन्तु स्टोनर के इस नियम की दृष्टि में हमें यह बात हा गया है कि परमाणु का प्रत्यक्ष ऊर्जा-स्तर इलक्ट्रानों की किस महत्तम संख्या का ग्रहण कर सकता है। इन तथ्यों का रहस्य समझने के प्रयत्न में ही पाली के अस्तित्व में यह विचार उत्पन्न हुआ कि ऊर्जा-स्तरों की संतृप्ति का मूल कारण यह है कि दो इलक्ट्रानों की क्वांटम अवस्थाओं का पूर्णतः एक-ही होना असंभव है अर्थात् संयुक्त अभिन्न क्वांटम-संख्याओं के द्वारा दोना इलक्ट्रानों की अवस्थाओं का निरूपण संभव नहीं है। दूसरे शब्दों में यह भी कह सकते हैं कि यदि किसी एक क्वांटम अवस्था में एक इलक्ट्रान पहले से ही विद्यमान हो तो उसी अवस्था में अन्य किसी इलक्ट्रान की उपस्थिति वर्जित है। यही कारण है कि इस मूलभूत भौतिक नियम का अपवर्जन नियम^४ का नाम दे दिया गया। तरंग यात्रिकी की भाषा में पाली का नियम निम्न प्रकार व्यक्त किया जा सकता है। वास्तव जगत में इलक्ट्रान केवल प्रति-भ्रमित अवस्थाओं में ही पाये जाते हैं। हम देख ही चुके हैं कि एंगी उत्पन्न नवीन यात्रिकी के प्रतिकूल नहीं है। यह समझने के लिए कि अपवर्जन नियम के उपयुक्त दोना रूप सचमुच ही अभिन्न है मान लीजिए कि किसी नियाम में दो इलक्ट्रानों की संयुक्त अवस्थाएँ बिल्कुल एक-ही हैं। यदि द्वितीय रूप के अनुसार यह मान लिया जाय कि इस इलक्ट्रान-युग्म की अपेक्षा तरंग फंक्शन

प्रति-समित है ता दाना इलैक्ट्राना की प्रियाजा का पक्षात्तरण करने से फलन का चिह्न बदल जाना चाहिए। किन्तु दोना इलैक्ट्राना की व्यक्तिगत अवस्थाएँ एक-भी होने के कारण तरंग फलन में कोई परिवर्तन नहीं हो सकता। फलन चूनि पक्षान्तरण से तरंग-फलन का चिह्न बदलना भी चाहिए और नहीं भी बदलना चाहिए इसलिए अनिवार्यतः ही उस फलन का मान शून्य के बराबर होना चाहिए और नवीन यात्रिकी में तरंग फलन का मान शून्य होने का अर्थ यह है कि जिन स्थिति की कल्पना की गयी थी उसका अस्तित्व संभव ही नहीं है। अर्थात् दा इलैक्ट्रान कभी एक-भी व्यक्तिगत अवस्थाओं में रह ही नहीं सकते। इस प्रकार अपवर्जन नियम के द्वितीय रूप से ही हमें प्रथम रूप प्राप्त हो जाता है। इसका विलोम^१ प्रमेय भी आसानी से प्रमाणित किया जा सकता है।

अतः तरंग-यात्रिकी में पाली के अपवर्जन नियम का वैदलेपिकीय रूप यह है कि इलैक्ट्रान निकाला के लिए वही तरंग फलन उपादेय^२ है जो समस्त इलैक्ट्रान-युग्मा की अपेक्षा प्रति-समित है। किन्तु इस नियम के उपयोग में यह स्मरण रखना आवश्यक है कि इलैक्ट्रान में नतन भी विद्यमान रहता है। अतः उसकी व्यक्तिगत अवस्था व्यक्त करनेवाला फलन केवल उसके निर्देशांक का ही फलन नहीं होता, किन्तु वह उसके नतन के मान का भी फलन होता है और पाली के नियमानुसार उपादेय फलन समस्त निर्देशांक के अतिरिक्त नतन की अपेक्षा भी प्रति-समित होना है। यह बात इस मिथ्या के गणितीय विचार के लिए अत्यन्त महत्वपूर्ण है, किन्तु हम उसका और अधिक विवेचन नहीं करेंगे।

पाली के नियम में यह बड़ा गुण है कि वह ऊर्जा-स्तरों की संरक्ति की उत्तम व्याख्या प्रस्तुत कर देता है। क्वांटम संस्थाओं के विभिन्न मंचों^३ के द्वारा निरूपित अनेक विभिन्न अवस्थाओं में ऊर्जा का मान बिल्कुल बराबर हो सकता है और फलतः वे सब अवस्थाएँ एक ही ऊर्जा-स्तर में समाविष्ट होती हैं। इस तथ्य का उपयोग करके पाली के नियम में से ही स्टोनर के नियम का भी सही निगमन^४ हो जाता है। अतः पाली के नियमानुसार किसी ऊर्जा-स्तर के इलैक्ट्रानों की महत्तम संख्या मालूम करने के लिए इतना ही काफी है कि गिनकर हम यह देख लें कि उस ऊर्जा-स्तर के अन्तर्गत विभिन्न क्वांटम-अवस्थाओं की संख्या अधिक से अधिक कितनी हो सकती है क्योंकि जब प्रत्येक क्वांटम अवस्था में एक-एक इलैक्ट्रान बैठ जाता है तभी उस ऊर्जा-स्तर

में इलस्ट्राना की गणना महत्तम हो जाती है। इसी गणना से स्टानर का नियम प्राप्त हो जाता है। निर्वाया की तरंग-यात्रिकी का उपयोग में पायी व नियम का क्या मोल्य महत्त्व है जो कि प्रसार इलस्ट्रान निर्वाया के लिए व फर्मी डिराक नाभिकी का जन्म देती है इन विषयों पर हम बाद में विचार करेंगे।

यदि इलस्ट्राना की गणना अवस्थाएँ तब प्रति-भूमि ही होती है तो यह प्रश्न उठता है कि सूक्ष्म-स्त्रीय भौतिक विज्ञान की अन्य मूल तथा योगिक कविता की अवस्थाएँ क्यों होती हैं। क्या पायी का नियम उन पर भी लागू होता है? या इस विचार का उनका अभ्य अवस्थाएं केवल समित ही होती हैं? या वाता ही प्रकार की अवस्थाएं गभज है? यह तो विदित ही जान पड़ता है कि इन अंतिम विचारों का अनुभव हम सभी भी रहा होता है। प्रत्यक्ष जगत में या तो केवल प्रति-भूमि अवस्थाओं का या केवल समित अवस्थाओं का अस्तित्व ही पाया जाता है। प्रति-भूमि अवस्थावाली कणिकाओं का वगैरे इलस्ट्रान तथा कई परमाणु नाभिकी सम्मिलित है। प्रत्यक्ष क्वांटम-अवस्था में इस प्रकार की कणिकाएँ एक से अधिक नहीं रह सकती। अतः जैसा कि हम पहले ही देख चुके हैं इनके लिए फर्मी डिराक की सांख्यिकी ही अनुप्रयोज्य होती है। समित अवस्थावाली कणिकाओं के वगैरे में फाटान आलगा-वण और अन्य परमाणु-नाभिकी सम्मिलित है। इनके लिए एन ही क्वांटम-अवस्था में अनेक कणिकाओं के एकत्र हो जाने में कोई बाधा नहीं है क्योंकि समित फन् में तो एक-ही कणिकाओं के पक्षान्तरण से कोई परिवर्तन नहीं हो सकता। अतः इन समित फन्वाली कणिकाओं के लिए जो सांख्यिकी अनुप्रयोज्य होती है वह वास्तव आइन्स्टाइन सांख्यिकी कहलाती है। फाटाना के लिए प्लान्क का नियम इसी सांख्यिकी का परिणाम है। व्यापक रूप में ऐसा जान पड़ता है कि जिन कणिकाओं का नतन घूण नतन के मात्र $\frac{h}{4\pi}$ का विषय अपवर्त्य होता है व पाली के नियम का पालन करती हैं और जिन कणिकाओं का नतन घूण शून्य होता है अवस्था $\frac{h}{4\pi}$ का सम अपवर्त्य होता है वे वास्तव आइन्स्टाइन सांख्यिकी के अधीन होती हैं। यह अध-आनुभविक नियम महत्त्वपूर्ण है। नतन और सांख्यिकी व प्रकाश का पट्टीवाले

स्पेक्ट्रमों के अध्ययन में तथा पारमाणविक नाभिका की गणना में महत्वपूर्ण स्थान है। अत्यन्त महत्वपूर्ण होने पर भी इन धाना का विवेचन यहाँ नहीं किया जा सकता।

पाली का नियम अपने अधीन इलेक्ट्रानों तथा अन्य कणिकाओं के एक अद्वितीय गुण को व्यक्त करता है। वास्तव में आज भी यह समझना असम्भव है कि दो एल-मा कणिकाओं में से एक कणिका दूसरी का अपनी ही जैसी अवस्था प्राप्त करने से कैसे राक सकती है। यह पारस्परिक क्रिया चिरप्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान की क्रियाओं से सर्वथा भिन्न है और इसके भौतिक रहस्य का अभी तक हमें पता नहीं लग सका है। आगामी काल के भ्रूतिक भौतिक विज्ञान के सामने अत्यन्त महत्वपूर्ण, किन्तु बहुत ही कठिन समस्या यह है कि अपवजन नियम के भौतिक कारण को खोजने में उम सफलता कैसे प्राप्त हो।

यह समझने के लिए कि इस प्रसंग में हम प्राचीन धारणाओं से कितनी दूर पहुँच गये हैं ऐसी गैस पर विचार करिए जिसकी समस्त कणिकाएँ एक ही जाति की हों और पाली के नियम का पालन करनेवाली हों—यथा, इलेक्ट्रान-गैस। अपवजन नियम के अनुसार ऐसी गैस में यह सम्भव है कि दो इलेक्ट्रान एक ही सरल रेखात्मक अक्षर वेगवाली अवस्था में विद्यमान हों क्योंकि यहाँ क्वांटमित अवस्थाएँ वही होती हैं जिनमें गति सरल रेखात्मक तथा अक्षर वेगवाली हो। चिरप्रतिष्ठित धारणाओं के अनुसार इसका अर्थ यह होगा कि जिस पात्र में यह गैस भरी है उसके भीतर के किसी एक बिन्दु पर अवस्थित कणिका किसी भी अन्य कणिका को ठीक अपनी जैसी अवस्था प्राप्त नहीं करने देगी। यह बात बिल्कुल विरुद्धाभासा है क्योंकि गैस के पात्र का हम जितना चाहें उतना बड़ा मान सकते हैं। फलतः उन दोनों कणिकाओं की दूरी भी जितनी चाहें उतनी बड़ी समझी जा सकती है। किन्तु इस विरुद्धाभास का हाइजेनबर्ग के अनिश्चितता के अनुवधा से घनिष्ठ सम्बन्ध है और यदि उनका मान लिया जाय तो इसका निराकरण हो जाता है। बात यह है कि कणिकाओं की सरल-रेखात्मक और अक्षर वेगवाली गतियों के अनुरूप ही उनकी सुनिर्णीत ऊर्जाएँ होती हैं। अतः अनिश्चितता के अनुवधा दो कणिकाओं की गत्यात्मक अवस्थाओं और उनके स्थानों की योगपदिक चर्चा का निषेध करते हैं। कणिकाओं की ऊर्जात्मक अवस्थाओं को सुनिर्णीत मानने से ही उनके स्थान सर्वथा अनिश्चित हो जाते हैं और तब उनकी पारस्परिक दूरी की चर्चा भी असम्भव हो जाती है। इस उदाहरण से स्पष्ट हो जाता

कि अपवजन नियम का भौतिक निवचन चिरप्रतिष्ठित प्रतिस्था की परिधि से बाहर टूटना पड़ेगा।

निकायो की तरंग-यात्रिकी के उपयोग

पॉली के नियमानुसार परिवर्धित तथा नतन की धारणा द्वारा मशाहित निकाय तरंग-यात्रिकी के उपयोग से बहुत सी विलक्षण सफलताएँ प्राप्त हुई हैं। हीलियम स्पेक्ट्रम की व्याख्या इन्हीं में से एक है। यद्यपि वाह्ले ने मिद्वान्त द्वारा आयनित हीलियम^१ के स्पेक्ट्रम की व्याख्या प्रारम्भ में ही हो गयी थी (क्याकि आयनित हीलियम भी एक इलेक्ट्रानवाले परमाणु निकाया की सूची में आ जाता है) तथापि अनाविष्ट^२ हीलियम या स्पेक्ट्रम प्रहेलिका ही बना रहा। अनाविष्ट हीलियम की साएँ वास्तव में दो सवथा भिन्न वर्गों में विभाजित हो सकती हैं और इन दोनों वर्गों के आनुपगिन स्पेक्टमीय पद कम से कम प्रथम सन्निकटन तक तो मयाजित हो नहीं सकते। इन सवथा स्वतंत्र रेखाओं के समुदाया को दो पथक नाम भी दे दिये गये थे—आर्यो हीलियम^३ स्पेक्ट्रम तथा पार हीलियम^४ स्पेक्ट्रम, और दीर्घकाल तक ही धारणा बनी रही कि हीलियम परमाणु ही दो विभिन्न प्रकार के होते हैं और वे दो भिन्न भिन्न प्रकार के स्पेक्ट्रम उत्पन्न करते हैं। किन्तु अन्त में यह स्वीकार करना मभव हो गया कि वास्तव में आर्यो-हीलियम तथा पार-हीलियम अलग-अलग निकाय ही हैं। हीलियम का एक ही परमाणु परिस्थितिया के अनुसार आर्यो-हीलियम स्पेक्ट्रम का अथवा पार हीलियम स्पेक्ट्रम का उत्पन्न कर सकता है। एक विख्यात भौतिकज्ञ मे हाइजनबर्ग ने इस प्रहेलिका के रहस्य का उद्घाटन कर दिया था। अनाविष्ट हीलियम परमाणु के दोनो अण्वीय इलेक्ट्रान पॉली के नियम के अधीन होते हैं। इस कारण इन परमाणु के तरंग फलन दोनो इलेक्ट्रानों के समस्त निर्देशांक तथा नतना की अपक्षा प्रति-सममित होने चाहिए। किन्तु ऐसा दो प्रकार से हो सकता है। यह भी हो सकता है कि तरंग फलन निर्देशांक की अपक्षा तो सममित हो किन्तु नतना की अपक्षा प्रति सममित हो और यह भी हो सकता है कि वे निर्देशांक की अपक्षा तो प्रति-सममित हो और नतना की अपक्षा सममित हो। जब तरंग फलन दो जानिया के होंगे। फलतः स्पेक्ट्रम पद भी दो विभिन्न जातिया के होंगे, और एक ही जाति के न होने के कारण उनका मयाजन भी कम से कम प्रथम सन्निकटन तक तो नहीं हो सकेगा। अतः हीलियम स्पेक्ट्रम के दो स्वतंत्र भागों में विभाजित होने की पूर्णतः

मतापजनक व्याख्या प्राप्त करने के लिए इतना ही यथेष्ट है कि हम एक जाति के पदों का आर्थो-हीलियम के पद समझ लें और दूसरी जाति के पदों को पार-हीलियम के। इस निवचन के द्वारा हाइड्रोजन का आर्थो-हीलियम तथा पार-हीलियम स्पेक्ट्रमों की कई विचित्रताओं का समझने में सफलता मिल गयी—विशेषकर यह समझने में कि पार-हीलियम की रेखाएँ तो मरल अथवा एच^१ हानी हैं, किन्तु आर्थो-हीलियम की तीन-तीन रेखाओं के चित्र^१ बन जाते हैं। हाइड्रोजन के सिद्धान्त के द्वारा केवल इस छोटे-से तथ्य की प्रागुक्ति ही पॉली के नियम का अच्छा सत्यापन है क्योंकि दाना प्रकार की रेखाओं की सूक्ष्म रचनाओं में यह विभेद पॉली के नियम का ही परिणाम है। इस नियम के अभाव में चिल्लुल ही दूसरी प्रागुक्तियाँ प्राप्त होती और वे प्रयोगों द्वारा समर्थित नहीं हो सकती थी।

निवाय-तरंग-यात्रिकी का दूसरा उल्लेखनीय उपयोग हुआ है हाइड्रोजन अणु के सिद्धान्त में और व्यापक रूप से ममस्त सम ध्रुवी^२ अणुओं के सिद्धान्त में। जिस अणु के परमाणुओं के बहुत आषषण विभिन्न प्रकार के हैं अर्थात् जो विषम ध्रुवी^३ हैं। उसके परमाणुओं का जोड़नेवाले बंधन का कारण चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त के द्वारा भी कुछ कुछ समझ में आ जाता है। यहाँ तो वस्तुतः यह कल्पना भी की जा सकती है ऐसे अणु के विभिन्न परमाणु अपने इल्लुलना का पारस्परिक आदान प्रदान करके, आपस में परिणत हो जाते हैं और इसलिए यह भी समझा जा सकता है कि आणविक रचना के स्थायित्व का कारण उस अणु के मधुन आयना के बीच का कूलम्बीय बल ही है। किन्तु सम ध्रुवी अणुओं की समस्या (उत्ताहरण के लिए दो विलकुल एन से परमाणुओं के बने हुए अणुओं की समस्या) पुराने भौतिक विज्ञान के लिए बड़ी उलझन में डालनेवाली समस्या थी क्योंकि कोई भी ऐसा कारण नहीं है कि जिससे एक ही प्रकार की बहुत बंधुता वाले परमाणु विभिन्न चिह्नीय आयना में परिणत हो जायें। फलतः यह समझ में नहीं आता कि इन अनाविष्ट परमाणुओं के बीच में किस प्रकार का बल बंधन का काम करता है। और जिन बलों की कल्पना की भी जा सकती है वे सब इस काम के लिए अत्यन्त क्षीण होते हैं। तरंग-यात्रिकी की यह कोई छान्नी-मोटी विजय नहीं है कि उसने 'विनिमय ऊर्जा' के निवेदन के द्वारा सम ध्रुवीय बन्धन के रहस्य का उद्घाटन कर दिया। इन रहस्यमय शक्तियों का अर्थ यह है कि जब हम तरंग यात्रिकी के द्वारा एक ही बणिवाओं के निवाय के विज्ञान का

1 Singlets ■ Triplets 3 Homopolar 4 Heteropolar ■ Bond
6 Ions 7 Affinity 8 Exchange energies

समीक्षा करते हैं तब कणिकाओं की तात पारम्परिक त्रियाओं के अस्तित्व का व्यसन करनेवाले पदा के साथ-साथ उम निराय की ऊर्जा के स्थान में कुछ नवीन प्रकार के पद भी प्रकट हो जाते हैं जिनका सम्बन्ध उम एन-मी कणिकाओं के पदान्तरण^१ की संभावना से होता है। इन्हीं पदा का नाम विनिमय ऊर्जा रखा गया है। इनका सम्बन्ध उम संख्या नवीन प्रकार के बल से है जिनका चिरप्रतिष्ठित विधि से किसी भी प्रकार का दिष्ट राशीय^२ निरूपण संभव नहीं है, किन्तु जिनके परिमाण बहुत बड़े हो सकते हैं। ये नये बल नवीन यात्रिकी के विधान के अनिवार्य परिणाम हैं किन्तु इनका भौतिक निरूपण (इस गंद के प्राचीन जय में) त्रिकुल ही अमभव मालूम होता है। एक बार फिर हमारे समक्ष ऐसा तथ्य उपस्थित हो जाता है जो समस्त चिरप्रतिष्ठित धारणाओं की सीमा से बाहर है और जो यह प्रकट कर देता है कि त्रिविमतीय सतत आकाश में भौतिक सत्ताओं के अवस्थापन^३ की हमारी साधारण विधि कितनी भ्रान्तिपूर्ण है। यद्यपि यह बता देता बड़ा शिक्षाप्रद होगा कि विनिमय-ऊर्जा का अस्तित्व केवल तभी होगा जब आकाश के एक ही प्रदेश में दो एक-मी कणिकाओं के पाये जाने की प्राधिकता^४ गूँथ न हो। दूसरे शब्दों में सामान्यतः तरंग-यात्रिकी में कणिकाओं का स्थान तो निर्दिष्ट नहीं किया जा सकता किन्तु उनका कुछ संभाव्य घनत्व वितरण^५ निर्धारित हो सकता है और विनिमय ऊर्जा का अस्तित्व केवल उभी अवस्था में संभव है जब दो एक-मी कणिकाओं के घनत्व वितरण अति-याप्त हो। इस बात से विनिमय-ऊर्जा का और आकाश में कणिकाओं के अवस्थापन की अमभवता का सम्बन्ध स्पष्ट हो जाता है।

विनिमय-ऊर्जा के इन अत्यन्त रोचक गुणों का विवेचन छोड़कर अब हम यह बताना चाहते हैं कि सम ध्रुवी अणुओं के निमाण की व्याख्या यह किस प्रकार करती है। ऐसे अणुओं का सबसे सरल उदाहरण हाइड्रोजन का अणु है जिसके दोना परमाणुओं में एक एक इलेक्ट्रॉन होता है। जब दो दूरस्थ हाइड्रोजन परमाणु एक दूसरे के निकट आ जाते हैं तब उनका एक यात्रिक निकाय बन जाता है जिसमें दो इलेक्ट्रॉन होते हैं। अतः इन दोना इलेक्ट्रॉनों के बीच में विनिमय-ऊर्जा का प्रादुर्भाव हो जाता है। पाली के नियम का तथा गहन का उपयोग करने तरंग-यात्रिकी की प्रक्रियाओं से इस विनिमय-ऊर्जा का परिवर्तन हो सकता है। हाब्लर तथा लंडन ने यह परिवर्तन किया

था। उनके परिवर्तन का परिणाम यह निकला कि यदि दोना इलैक्ट्राना के नतन की अभिदिगा^१ एक ही हा तब ता विनिमय-ऊर्जा ऐसी हानी है जिससे प्रवट हाता है कि दाना परमाणुआ में पारम्परिक प्रतिकषण^२ है। अतः अणु बन ही नहीं सगता, किन्तु इसके विपरीत यदि नतना की अभिदिशाएँ विपरीत हा ता विनिमय-ऊर्जा एसी हानी है जा प्रगट करती है कि परमाणुआ में आनषण^३ हाता ह किन्तु यदि वे अधिक निगट जा जायें तो यह आनषण बदलकर प्रतिकषण हा जाना ह। अतः इस दगा में स्थायी अणु बनने की प्रवृत्ति हानी ह। यह सिद्धान्त हाइड्रोजन अणु के निर्माण और उसके गुणा को बहुत अच्छी व्याख्या कर दता ह। इसके सागभाग को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है। दाना हाइड्रोजन परमाणुआ व इलैक्ट्राना में यह क्षमता ह कि उनका ऐसा युग्म बन जाय जिसमें नतन विपरीत अभिदिगाआवाले हा। ऐसे युग्म में स्थायित्व का गुण बहुत अधिक मात्रा में हाता ह और यही दाना परमाणुआ के बीच में बंधन का काम करता ह और उन्हें एउ ही अणु में युग्मित रखता ह। इस रूप में व्यक्त होने से समस्त द्विपरमाणुव अणुआ व और बहुपरमाणुव अणुआ के सघटन के लिए भी इसी व्याख्या का व्यापकीकरण हा सकता है। उदाहरण के लिए किसी भी द्विपरमाणुव अणु का लीजिए। जिन दो परमाणुआ से यह अणु बन सकता ह उनमें बहुत से इलैक्ट्रान हागे। इनमें से प्रत्येक परमाणु में कुछ इलैक्ट्राना व युग्म तो ऐसे हागे जिनके दोना इलैक्ट्राना की ऊर्जा ता बराबर हागी किन्तु नतन विपरीत अभिदिशावाले हागे। किन्तु थोडे से इलैक्ट्रान एस भी हागे जो इस प्रकार युग्मित न हा। इन अ-युग्मित इलैक्ट्राना का परिहृतममय नाम 'अविवाहित इलैक्ट्रान'^४ है और इनमें यह प्रवृत्ति होती ह कि यदि अवसर मिले तो किसी दूसरे परमाणु के इलैक्ट्रान स मिलकर ये अपना जोडा बना लेते हैं। परिवर्तन में मालूम हाता ह कि अनुक्ल परिस्थितिया में दो परमाणुआ के पास पास आने से ऐसा अणु बन जाता ह जिसमें दाना परमाणुआ के कम-से-कम थाये से अविवाहित इलैक्ट्रान ता परस्पर युग्मित हा जात है। ऐसे जाग के बनने से ही दाना परमाणुआ के बाह में आणविक ब बंधन की सग्टि हा जाती ह। स्पष्टत ही इस व्याख्या का व्यापकीकरण दा स अधिक परमाणुआवाले अणुआ के लिए भी हो सकता है।

विपरीत नतनावाले इलैक्ट्राना के जोडा की सग्टि के द्वारा अणुआ के निमाण की व्याख्या से ही हम मयोक्तता नामक रसायन विज्ञान की अत्यन्त मौलिक धारणा

ता भी निश्चय प्राप्त हो जाता है। व्यापक रूप में हम यह कह सकते हैं कि यदि किसी परमाणु की माधारण संरचना में अतिरिक्त इलेक्ट्रॉनों का अभाव है। तो उच्चरी रासायनिक संयोजनता भी है। वरिष्ठ होगी। अतः परमाणु है। हाइड्रोजन परमाणुओं में संयोजित होता है अणु बना करता है क्योंकि उच्चरी प्रत्यक्ष अतिरिक्त इलेक्ट्रॉन एक हाइड्रोजन परमाणु के इलेक्ट्रॉन के साथ युग्मित हो जाता है। अतः ऐसा परमाणु है। संयोजक होता है—यह-मे-यह उच्चरी महत्तम संयोजनता है। होगी। इसमें प्रत्यक्ष होता है कि रासायनिक संयोजनता का अस्तित्व का इलेक्ट्रॉनों की विनियमित ऊर्जा में सम्बन्धित होता है और इसमें यह भी स्पष्ट हो जाता है कि जय प्रकार के बन्धों के समान संयोजक बन्धों का निरूपण किसी भी द्वितीय^१ व्ययस्था के द्वारा संतोषजनक क्या नहीं हो सकता। इसमें अनिश्चित युग्मित हो जाने पर दोनों इलेक्ट्रॉन एक प्रकार में उदासीन हो जाते हैं और फिर आणविक संयोजन में उच्चरी कोई सहायता नहीं मिलती। इस तथ्य में संयोजनता-अनपत्ति की भी व्याख्या हो जाती है। जब तक संयोजनता का निरूपण पुरानी तरह के बन्धों के द्वारा करने का प्रयत्न होता रहा तब तक यह संतोषित बिल्कुल ही बाध-ग्रस्त नहीं हो सकी थी। अतः यह स्पष्ट हो जाता है कि तरंग-यात्रिकी पर आधारित संयोजनता का यह नवीन सिद्धांत कितना लाभदायक और बौद्धिक संतोष देनेवाला है।

किन्तु यद्यपि संयोजकता के सिद्धांत का यह नवीन आधार अब अविरोध जान पड़ता है तथापि इस सिद्धान्त में सम्बद्ध अनेक तथ्यों की (यथा बहु-संयोजकता^२ अथवा द्वि-संयोजकता^३, त्रिविमीतीय रसायन^४, स्वतंत्र बन्धन आदि की) विस्तृत व्याख्या प्राप्त करने के लिए अभी बड़े परिश्रम की आवश्यकता है। यह काम अत्यन्त अध्यवसायपूर्वक प्रारम्भ हो चुका है किन्तु यह गणितीय रसायन^५ तथा कठिन विज्ञान है और उसे पूरा बनाने के लिए अभी बहुत परिश्रम करना पड़ेगा। अभी तक तो हाइड्रोजन-अणु के समान सरल प्रकार के अणुओं के अतिरिक्त अन्य अणुओं के दृष्ट माना तथा दृष्ट करना का स्पष्ट परिवर्तन ही संभव नहीं हुआ है। जिन तरंग फंक्शनों के व्ययजन लिखने में हम असमर्थ हैं उच्चरी समिति के गुण के अनुसार वर्गीकरण करके और उनके दृष्ट माना का गिनकर ही अभी तो संतोष करना पड़ेगा। इस समय तो हमें मध्य सिद्धांत^६ की अत्यन्त व्यापक विधियाँ का ही उपयोग करना पड़ेगा। यह सिद्धांत जिससे भौतिकी अभी तक अधिक परिचित नहीं थे तरंग-यात्रिकी की इस

१ Vectorial २ Multiple valency ३ Directed valency ४ Stereo Chemistry ५ Free binding ६ Mathematical Chemistry ७ Group theory

शास्त्र में अनिवार्य हो गया है और उमकी महायता से जल्पन्त शीघ्रता तथा सुन्दरता-पूर्वक श्रेष्ठ और जल्पन्त व्यापक परिणाम निकल आये हैं। किन्तु जो मद्धान्तिक भौतिकज्ञ इस कठिन विधि का उपयोग करना जानते हैं, उन्हें रसायन विज्ञान के बहु-सम्बन्ध जटिल मौलिक तथ्या का अध्ययन करने का अवसर ही नहीं मिला है। अतः जो परिणाम प्राप्त हो गये हैं उन्हें पूर्णतया प्रदान करने के लिए ऐसे भौतिकज्ञों का रसायनशास्त्र के साथ घनिष्ठ सहयोग स्थापित करने की जिज्ञासु आवश्यकता है। जो भी हो, आज भी रसायन विज्ञान के कई अत्यन्त महत्त्वपूर्ण नियमों के रहस्य का उद्घाटन करने का श्रेय सबसे अधिक इस नवीन यांत्रिकी को ही दिया जा सकता है।

४ क्वांटम-सांख्यिकी^१

इस नवीन यांत्रिकी के विकास का प्रभाव वाल्टजमान तथा गिब्स^१ की विर-प्रतिष्ठित सांख्यिकीय यांत्रिकी पर भी परमा अनिवार्य हो था। इस सांख्यिकी का स्थूल-मन्त्रीय भौतिक विज्ञान में प्रचुर सफलता मिल चुकी थी। यहाँ हम इस बात को विस्तृत चर्चा नहीं कर सकते कि क्रिया के क्वांटम के प्रादुर्भाव ने सांख्यिकीय यांत्रिकी के मूल-पाथों में कितना परिवर्तन कर दिया है। हम केवल इतना ही कर सकते हैं कि तरंग-यांत्रिकी द्वारा प्रस्तुत प्रतिरूपा की सहायता से आदर्श गैस^१ पर विचार करके इस परिवर्तन का कुछ आभास प्राप्त करें। आदर्श गैस में टक्करों को छोड़कर दोष समय में परमाणुओं की अवस्थाएँ एसी होती हैं जिनमें उनकी गति सरल रेखात्मक तथा अचर वेगवाली होती है। विर-प्रतिष्ठित सांख्यिकीय यांत्रिकी में गति की इन अवस्थाओं की परम्परा सतत मानी जाती है। क्योंकि वेग की समस्त दिशाएँ और उनके समस्त मान समान रूप से सम्भाव्य होते हैं। वाल्टजमान और गिब्स की विधि तत्त्वतः यही है कि ऊर्जा के किसी विनियोजन के लिए गति की इन विभिन्न अवस्थाओं में गैस-परमाणुओं के सम्भव वितरणों की गिनती करके यह पता लगा लिया जाय कि सबसे अधिक प्रायिकता किस वितरण की है। जिस समय परमाणु की गति के साथ किसी तरंग प्रचरण की आनुषंगिकता स्थापित करके क्रिया के क्वांटम का निवेशन किया गया था (यथा तरंग-यांत्रिकी में) तब यह स्थिति बदल गयी थी क्योंकि किसी अचल पथ में भगने होने का कारण तरंग-यांत्रिकी में, क्वांटमीकरण की मूल धारणा के अनुसार, उस गैस में केवल उन्हीं अप्रगामी तरंगों का भौतिक अस्तित्व सम्भव हो सकता है जो पथ के

विस्तार की अपेक्षा अनुनादी^१ है। इसलिए पहले तो इन स्थावर अवस्थाओं की मूल्य की गणना करना आवश्यक होगा और तब पूर्ण-ऊँचा के किसी भी नात मान के लिए इन अवस्थाओं में परमाणुओं के संभव वितरण का हिमाव लगाना पड़ेगा। स्थूल मापदंडीय पात्र के लिए (और समस्त व्यवहारोपयोगी पात्र वास्तव में केवल इस प्रकार के हो सकते हैं) प्लांक के नियतांक की स्वल्पता के कारण इन स्थावर अवस्थाओं की परम्परा अमूर्त होती है, किन्तु अत्यन्त स्वल्पान्तरालित भी होती है। इसलिए हम यह विश्वास कर सकते हैं कि हमारे प्रेक्षण में सब कुछ एसा ही मालूम देता है मान यह परम्परा सात ही हो। सांख्यिकीय यात्रिकी के उपयोग की उचितता का यह कारण है। इस विश्वास में बहुत सचाई है और पुरानी सांख्यिकीय विन्यास की सफलता का रहस्य भी इसी से समझ में आ जाता है। फिर भी इस स्थूल मापदंडीय स्तर पर भी क्रिया के क्वांटम के निवेगन के कुछ ऐसे विचित्र परिणाम प्रकट हुए हैं जिनका सत्यापन भी संभव है। इनमें प्रमुख परिणाम तो यह है कि इसके द्वारा ऐंट्रोपी का नियतांक^२ निर्णीत हो सका है। चिरप्रतिष्ठित सांख्यिकीय यात्रिकी में यह नियतांक अनन्त माना जाता था। यह बात बड़ी विचित्र मालूम देती थी। किन्तु अब हम जान गये हैं कि इसका कारण यही था कि भौतिक जगत के स्थायित्व के लिए क्रिया का जो क्वांटम अपरित्याज्य^३ है प्रमादवश उसी की उपेक्षा की गयी थी। कुछ लोग ने इस कठिनाई से यह कहकर बचना चाहा था कि ऊष्मा गतिकी^४ में ऐंट्रोपी का नियतांक मनमाना^५ होने के कारण उसे अनन्त मान लेने में भी कोई हानि नहीं है। किन्तु क्वांटम सिद्धान्त ने ऐंट्रोपी के मान को परिमित^६ बना दिया और प्लांक के नियतांक के फलन के रूप में उसका परिवर्तन भी संभव कर दिया, और तब मालूम पड़ा कि किसी चाप और उसके सघनित के सन्तुलन के पूर्ण परिवर्तन में ऐंट्रोपी के नियतांक का प्रभावगाली स्थान होता है और इसी बात में इस नियतांक के क्वांटम सिद्धान्त द्वारा प्राप्त मान का परिमाणिक सत्यापन भी संभव हो गया है।

किन्तु सांख्यिकीय यात्रिकी के क्वांटम रूप के पूर्ण विकास के लिए विभिन्न संभाव्य क्वांटम-अवस्थाओं में उग निम्न के परमाणुओं जयवा अथवा अन्यथा के विभिन्न वितरणों की समस्या का परिवर्तन आवश्यक है और यह प्रश्न उठता है हमें यह भी ध्यान में रखना पड़ेगा कि इसी परिच्छेद के खंड २ में जो बात बतायी गयी थी उनका इस

१ Resonant २ Closely spaced ३ Constant of entropy ४ Indispensable = Thermodynamics ५ Arbitrary ६ Finite ७ Condensate

परिवर्तन पर अत्यन्त महत्त्वपूर्ण प्रभाव पड़ेगा। सबसे पहले तो हम यह देख ही चुके हैं कि एक ही आति की दो कणिकाओं की एकात्मकता हमें बाध्य करती है कि जो दा वितरण ऐसी कणिकाओं के पक्षांतरण¹ द्वारा प्राप्त होंगे उनको भी हम अभिन्न ही समझें। वितरणा के गिनने की इस नवीन विधि का उपयोग पुरानी सांख्यिकीय यांत्रिकी में भी हो सकता था क्योंकि यह कोई क्वांटमीय धारणा नहीं है। और इससे कई परिणाम ऐसे निकले भी थे जो बोल्टज्मान सिद्ध की सांख्यिकी के परिणामों से सर्वथा भिन्न थे। किन्तु इससे कुछ और परिणाम भी निकलते हैं। इन वितरणा के परिवर्तन में हमें इस बात का भी ग्याल रखना पड़ेगा कि हमारे निष्कर्षों की कणिकाएँ पॉली के नियम का पालन करती हैं या नहीं अर्थात् हमें यह स्मरण रखना पड़ेगा कि यदि उनके तरंग फलन आवश्यक रूप से प्रति-समिति हों तब तो प्रत्येक अवस्था में अधिक-से-अधिक एक ही कणिका रह सकती है किन्तु इसके विपरीत यदि वे पॉली के नियम का पालन नहीं करती हैं तो हमें विदित ही है कि उनके तरंग फलन अवश्य ही समिति होंगे और तब प्रत्येक अवस्था में कणिकाओं की संख्या का सीमित रखने का कोई भी कारण नहीं हो सकता। इन दोनों स्थितियों में वितरणा की समस्या बिल्कुल अलग-अलग निकलेगी। पहला स्थिति में जिस परिवर्तन विधि का उपयोग होगा वह फर्मी डिरैक की सांख्यिकी के नाम से विख्यात है किन्तु उसे हम पाणी की सांख्यिकी भी कह सकते हैं क्योंकि उसका अस्तित्व अपवजन नियम में प्रच्छन्न रूप से निहित है। दूसरी स्थिति के लिए उपयोगी परिवर्तन विधि बोस-आइन्स्टाइन सांख्यिकी² कहलाती है और यह तरंग-यांत्रिकी सम्बन्धी प्रारम्भिक गवेषणाओं में ही सम्भाव्य रूप से निहित है।

यदि h का मान घटकर शून्य के नजदीक पहुँच जाय तो इन दोनों नवीन सांख्यिकीयों का चिरप्रतिष्ठित सांख्यिकी से अनन्त-स्पर्शी तादात्म्य हो जाता है। यह प्रागुक्ति तो पहले से ही की जा सकती थी। यदि ऊष्मा-गतिकी का निमाण इन दोनों सांख्यिकीयों के अनुसार किया जाय तो हमें दो प्रकार की ऊष्मा-गतिकीय प्राप्त हो जायेगी जिनमें बहुत ही थोड़ा-सा फर्क होगा। किन्तु यदि h अत्यन्त स्वल्प हो तो ये दोनों भी चिरप्रतिष्ठित ऊष्मागतिकी से बिल्कुल मिल जायेंगी। इन विभिन्न ऊष्मा-गतिकीयों के द्वारा आदर्श गैस के नियमों का निगमन करने से हमें ऐसे नियम प्राप्त होते हैं जिनमें चिरप्रतिष्ठित नियमों का व्यतिक्रम³ विपरीत दिशाओं में होता है। उदाहरण के लिए एक सांख्यिकी के अनुसार तो गैस की संपीड्यता मेरियट-ये-लूसैक⁴ के नियम

1 Transposition 2 Fermi Dirac Statistics 3 Bose Einstein Statistics
4 Departure 5 Compressibility 6 Mariotte Gay Lussac

द्वारा निर्दिष्ट मान की अपेक्षा अधिक निकरेगी, किन्तु दूसरी के अनुसार कम। किन्तु दुर्भाग्यवश जैसा कि हम पहले बता चुके हैं सामान्य परिस्थितियों में गस नियमों के ये सांख्यिकीय व्यतिरिक्त अत्यन्त स्वल्प होते हैं। इस कारण इनका पता लगाना असंभव है और यह असंभवता इस कारण और भी अधिक बढ़ जाती है कि वास्तविक गैसों आदर्श गैसों नहीं होती और मेरियट-गे-लूसन के नियम में जो व्यतिरिक्त अथवा कारणों से उत्पन्न होते हैं (यथा अणुओं की पारस्परिक क्रिया तथा उनके परिमित आयतन आदि कारणों से), वे सांख्यिकी के प्रभाव से उत्पन्न व्यतिरिक्त का एक लेते हैं। अतः वास्तविक गैसों के अध्ययन में नवीन सांख्यिकी का सत्यापन नहीं किया जा सकता। किन्तु सौभाग्य से दाना ही सांख्यिकी का एक एक अनुप्रयोग ऐसा है जिससे उनकी यथार्थता प्रमाणित हो सकती है। वॉल-आइन्स्टाइन की सांख्यिकी का ऐसा अनुप्रयोग कृष्ण वस्तु विकिरण^१ के सम्बन्ध में है और फर्मी डिरैक की सांख्यिकी का धातुओं में विद्यमान इलेक्ट्रॉनों के सम्बन्ध में है। जब हम इन दानों के विषय में कुछ शब्द कहें।

हम देख चुके हैं कि फोटॉन पाली के नियम का पालन नहीं करते। अतः अनेक फोटॉनों की अवस्था एक-सी होने में कोई बाधा नहीं है। फलतः फोटॉनों द्वारा संचालित गैस वॉल-आइन्स्टाइन की सांख्यिकी के अनुसार आचरण करेगी। यह विदित है कि किसी समतापीय^२ कौष्ठिक^३ में विद्यमान सन्तुलन विकिरण^४ की तुलना फोटॉन गैस के साथ पूर्ण रूप में हो सकती है। अन्तर केवल इतना होता है कि विकिरण में फोटॉनों की संख्या आवश्यक रूप से अचर नहीं रहती क्योंकि कौष्ठिक की दीवारों भी विकिरण का अवशोषण और उत्सर्जन कर सकती हैं। सन्तुलन विकिरण पर वॉल-आइन्स्टाइन की सांख्यिकी का उपयोग करके और उपयुक्त विशेष परिस्थिति का ध्यान में रखकर प्लांक का स्पेक्ट्रमीय वितरण सम्बन्धी नियम बनी जासानी से प्राप्त हो जाता है। प्लांक का नियम ता प्रयोग द्वारा पूर्णतः सत्यापित हो चुका है। अतः इसमें वॉल-आइन्स्टाइन की सांख्यिकी का भी विलक्षण रूप से समर्थन हो जाता है और यह समर्थन और भी अधिक विश्वसनीय था कि सन्तुलन विकिरण में फोटॉनों का यथावत स्पेक्ट्रमीय वितरण न ता चिरप्रतिष्ठित सांख्यिकी से प्राप्त हो सकता है और न फर्मी डिरैक की सांख्यिकी से।

इसी प्रकार फर्मी डिरैक-सांख्यिकी का भी विलक्षण सत्यापन धातुओं के इलेक्ट्रॉन सिद्धान्त द्वारा हो गया है। पुराने इलेक्ट्रॉन सिद्धान्त के समर्थकों ने विशेषतः ड्रूड^५

और लार टज ने धातुआ के गुणा की व्याख्या करने का प्रयत्न किया था—खासकर जप्ता तथा विद्युत के चालन^१ सम्बन्धी गुणा का। उनकी परिष्करण यह थी कि धातुआ में परमाणु जगत आयनित^२ हो जाते हैं और इस आयनीकरण ने धातु में स्वतन्त्र इलैक्ट्रानों की एक गस बन जाती है। इस इलैक्ट्रान-गैस पर सांख्यिकीय यांत्रिकी की विधि का उपयोग करने से वह धातुआ के अनेक गुणा की प्रागुक्ति प्रस्तुत करने में सफलता भी मिली थी। फिर भी इस सिद्धांत में अनेक कठिनाइयां बनी रही। सबसे महत्वपूर्ण कठिनाई धातुआ की विशिष्ट-उष्मा^३ के सम्बन्ध में थी। स्वतन्त्र इलैक्ट्रानों की उपस्थिति के कारण इसका मान प्रयोगलब्ध मान से बहुत ज्यादा होना चाहिए था। नवीन सांख्यिकी का विकास होने पर सामरफेल्ड ने इनमें से कुछ कठिनाइयों को ता दूर कर दिया। इलैक्ट्रान अपवर्जन नियम के अधीन हात ह। अतः उन पर ता फरमी डिरक की सांख्यिकी लागू होनी चाहिए। सरल सख्यात्मक परिकलन से प्रकट हा जाता है कि जिन परिस्थितियों में इलैक्ट्रान धातु में रहने हैं, वे उन परिस्थितियों से बहुत भिन्न होती हैं जिनमें साधारण स्थूल-स्त्रीय गैसों के परमाणु पाये जाते हैं। यद्यपि इन परमाणुओं के सम्बन्ध में चिरप्रतिष्ठित सांख्यिकी और फरमी डिरक की सांख्यिकी द्वारा प्राप्त परिणामों में कोई प्रेक्षण-गम्य अन्तर नहीं हाता तथापि धातु के इलैक्ट्रानों के सम्बन्ध में फरमी की सांख्यिकी से वही परिणाम नहीं निकलते जो बोल्टजमान की सांख्यिकी से निकलते हैं। इस प्रभेद का कारण यह है कि द्रव्य परमाणुओं की अपेक्षा इलैक्ट्रान बहुत ही हल्के हाते हैं। यदि क्वांटम-सांख्यिकी की सत्यता स्वीकार कर ली जाय तो डूड और लोरेंटज के सिद्धान्तों का विकास फिर से पूणत मशोधित रूप में करना पड़ेगा। सामरफेल्ड ने ही यह काम सबसे पहल किया। इस प्रकार पुराने सिद्धांत के सही परिणाम तो उभो के-त्या रहे, बल्कि उनमें भी कुछ अधिक पूणता आ गयी। इसके अतिरिक्त जो कठिनाइयां उत्पन्न हा गयीं था उनमें स भी बहुतों का निगकरण हा गया। उदाहरण के लिए फरमी डिरक की सांख्यिकी के ही परिणामों स उन्होंने इस बात की सरल व्याख्या कर दी कि धातु की विशिष्ट उष्मा के मान में स्वतन्त्र इलैक्ट्रानों द्वारा कोई प्रेक्षणगम्य असदान नहीं हो सवना और इस विगिष्ट उष्मा का मान ऐसा हाता है माना स्वतन्त्र इलैक्ट्रानों का कोई अस्तित्व ही नहीं है। इस प्रकार पुराने सिद्धान्त के माग में जा बहुत बनी बाधा थी वह दूर हा गयी। सामरफेल्ड की इस गवपणा स जा रास्ता खुल गया था उसी का अनुसरण करके अनेक

सैद्धान्तिक ने पूर्ववर्ती परिणामों का विभिन्न दिशाओं में परिवर्तित कर दिया है।
उनमें लिया त्रिगो^१ फेलिक्स ब्लॉक^२ और सीमस^३ के नाम उल्लेखनीय हैं।

क्याटम भौतिकी की इस 'अत्यन्त महत्वपूर्ण' और बहल शाखा का पूरा गिराव
दस छांटो-नी पुस्तक में देना सम्भव नहीं है। किन्तु यह न भूलना चाहिए कि 'तात्कालिक' परिणामों के साथ-साथ अब भी अनेक बातें अँधेरे में ही रह गयी हैं। 'तात्कालिक' परिणामों के विभिन्न और महत्वपूर्ण घटना की 'अनी' तात्कालिक सन्तुष्टि का व्याख्या नहीं हो
सकी है।

क्याटम-सांख्यिकी के अन्य अनुप्रयोगों में से हम केवल उन्नी की गति का तात्कालिक
निर्माण परमाणुओं के गुणों का निगमन करने के लिए परमी के साहचर्य प्रयोग परमाणु
का ऐसी गति मान लिया है जो नाभिकों के बल क्षेत्र में अवस्थित रहता है। इसी द्वारा
द्वारा स्पष्टित है। इसमें परमी ने अपनी सांख्यिकी का बहुत अच्छा उपयोग किया है।

५ व्यक्तित्व की सीमाएँ

हम देख चुके हैं कि एक ही प्रवृत्ति की कणिकाओं ने निराश की तरंग गति में
मे और उनकी क्याटम सांख्यिकी में कणिकाओं के व्यक्तित्व की धारणा का भोग
बहुत परित्याग निहित है। किन्तु यह कहना कि कणिकाओं के व्यक्तित्व की धारणा
का पूर्णतः परित्याग करना आवश्यक होगा हमारी समझ में अतिशयोक्ति होगी। हम
तो समझते हैं कि कणिकाओं के व्यक्तित्व की धारणा का सम्बन्ध आणविक के विभिन्न
प्रदशा में उनके अवस्थापन की सम्भावना से है। यह सम्भावना का मूल उपस्थित रहती
ही है। अतः प्रयोग के द्वारा कणिकाओं में व्यक्तित्व निर्वान की भी सम्भावना मदव
रहेगी। किन्तु एक-समान कणिकाओं के व्यक्तित्व का अनुसरण करना उस समय
सम्भव नहीं है। सबेगा जब उनके समान प्रायिकता घाटन के वितरण परस्पर अति
व्याप्त^४ है, क्याकि तब कणिकाओं का विनिमय सम्भव हो जायगा। अगर हम यह
उस बात से है जा खड ३ में हम विनिमय-ऊर्जा का विषय में कह चुके हैं। तात्कालिकी
में जिन निष्कर्षों का अध्ययन किया जाता है उसमें अधिकांश निष्कर्षों में यह स्पष्ट
होती है विशेषकर ऐसी गति में जिसमें कणिकाओं की ऊर्जा गुणिनीयता गति में गति है अर्थात्
जिसके कणिकाओं की आनुप्रायिक तरंग यथावत अवस्था में गति में गति गति गति गति
है और पूरे काष्ठन में व्याप्त रहती है। इसमें हम गति में गति है कि चित्रनिष्ठा

1 Leon Brouillon ■ Felix Block ■ Felix Block 4 Superconductivity
5 Nucleus ■ Limits of Individuality ■ Probability Density
lapping ■ Enclosure

सिद्धान्ता में कणिकाओं की व्यक्तिवहीनता क्या भाय नहीं है क्योंकि हमारा सम्बन्ध आकाश के एक ही प्रदेश में दो कणिकाओं के एक साथ रहने की—क्रम-से-क्रम रह सकने की—समाप्ति से है और यह समाप्ति नवीन यांत्रिकी की धारणाओं की ही विशेषता है।

यदि हम खंड ३ और ४ के कुछ वक्तव्यों पर थोड़ा-सा विचार करें तो यह स्पष्ट हो जायगा कि कणिकाओं की व्यक्तिवहीनता, अपवजन-नियम और विनिमय-ऊर्जा इन तीनों रहस्यमय तथ्यों में घनिष्ठ सम्बन्ध है। इन तीनों की उत्पत्ति का कारण मूल भौतिक सत्ताओं को त्रिविमीय आकाश-सातत्य में अथवा अधिक व्यापक रूप से चतुर्विमीय दिक्-काल सातत्य में यथायत्त निरूपित करने की असमर्थता है। यदि किसी दिन हम इस ढांचे में छुटकारा पा जाय तो नवीन भौतिक विज्ञान के इन तीन महान् पथ प्रदर्शक नियमों का जो रहस्य इस समय बिलकुल अभेद्य है उसका उद्घाटन करने में शायद कुछ अधिक सफलता प्राप्त हो सके।

दूसरे दृष्टिकोण से यह कहा जा सकता है कि व्यष्टि की भौतिक धारणा निकाय की धारणा की परिपूरक है (वाह के अर्थ में)। कणिका का व्यक्तिव केवल उभी समय सुनिश्चित होता है जब वह बिलकुल अकेली हो। जैसे ही उसके और अन्य कणिकाओं के बीच में पारस्परिक क्रिया होने लगती है तब ही उसका व्यक्तिव भी घट जाता है। संभवतः चिरप्रतिष्ठा सिद्धान्त में यह बात यथेष्ट रूप से स्पष्ट नहीं की गयी थी कि किसी निकाय की स्थितिज ऊर्जा की धारणा में यह बात भी निहित है कि निकाय की समस्त कणिकाओं की पूर्ण ऊर्जा के कुछ अंश का स्थितिज ऊर्जा के रूप में, संकोचण हो जाता है और यह उस निकाय के अवयवों के व्यक्तिव को कुछ निबल कर देता है। नवीन यांत्रिकी में तो यह समझा जाता है कि एक ही जाति की कणिकाएँ किसी-न किसी प्रकार एक ही समय में आकाश के एक ही प्रदेश में विद्यमान रहती हैं। अतः वहाँ तो यह व्यक्तिव बिलकुल ही लुप्त हो जाता है। पारस्परिक क्रियाहीन अकेली कणिकाओं से प्रारम्भ करके यदि हम उत्तरोत्तर परिवर्तन के द्वारा उपयुक्त निकायों के निर्माण पर विचार करें तो हम देखेंगे कि ज्यादा-ज्यादा निकाय का व्यक्तिव प्रबल होता जाता है तथा-तथा कणिकाओं के व्यक्तिव की धारणा अधिक-अधिक अस्पष्ट होती जाती है। अतः ऐसा मालूम पड़ता है कि व्यक्ति और निकाय बहुत कुछ परिपूरक आदर्शिकरण है। यह विचार ऐसा है जिसका संभवतः अधिक सूक्ष्म और गहन समीक्षण वाञ्छनीय है।

उपसंहार

अब कतिपय प्रश्न, जिनके सम्बन्ध में इस पुस्तक में विचार नहीं किया गया

१ तरंग-यांत्रिकी और प्रकाश

हम दृग् चक्षुः ह कि प्रकाश के द्वय स्वरूप के कारण उसे तरंग यांत्रिकी की मूल धारणाओं का प्रादुर्भाव हुआ था। फोटॉन और प्रकाश-तरंगों की आनुपमिकता पर विचार करने से जो धारणाओं का जन्म हुआ था उसी से द्रव्य पर विस्तारित करने से द्रव्य-वर्णों और उनकी $\frac{1}{2}$ -तरंगों की आनुपमिकता का विचार उत्पन्न हुआ था। प्रकाश के द्वय स्वरूप में ही हमें इस पुस्तक में द्रव्य के द्वय स्वरूप का स्पष्टीकरण में सहायता मिली है। ऐसी परिस्थिति में गायद यह बात अगम्य नमिषित ही मान्य पड़े कि तरंग-यांत्रिकी के व्यापन क्षेत्र में ही प्रकाश के मिश्रण को भी समाभावित रूप से स्थान मिल जायगा। यह बात चाहे कितनी ही विरुद्धभासी क्या न मान्य पड़े किन्तु मन्त्र ता यह है कि ऐसा बिल्कुल ही नहीं हो सकता। यह मन्त्र है कि तरंगों और कणिकाओं में सम्मिश्रित राशियों में व्यापन अनुप्रस्थ स्थापित करने की पूरी सामर्थ्य तरंग यांत्रिकी में थी। इन अनुप्रस्थ या निम्न विवरण हम परिच्छेद ८ के प्रारम्भ में देख चुके हैं। य अनुप्रस्थ फोटॉन और द्रव्य कणिकाओं के लिए समान रूप में उपयुक्त है। किन्तु इन्हीं आधार पर प्रकाश के सर्वांगपूर्ण मिश्रण का निर्माण में गंभीर कठिनायियाँ उपस्थित हो गयीं। अन्तर्ध्व पक्ष पक्षे अज्ञात और पक्षी ने सर्वांगपूर्ण मिश्रण की स्थापना करने का सुन्दर प्रयास किया था। य प्रयास पक्षे पक्षे मिश्रण मिश्रण का निर्माण करना चाहते थे कि जिनमें प्रकाश के सर्वांगपूर्ण मिश्रण का विचार स्वाभाविक स्थान मिल जाय, किन्तु यद्यपि हम प्रयास की यक्षमायें भुङ्गता जगति में हैं और यद्यपि इसके अच्छे परिणाम निरवधार्य भी रह्य तथापि उग जात पक्षे पक्षे का सामना करना पड़ा था और उगम प्रकाश के उग का मन्त्र कि प्रश्न उत्पन्न नहीं है।

सका। इसी प्रकार के दूसरे सिद्धान्त का प्रतिपादन डिरैक ने और उसके बाद फरमी तथा अय लोग ने किया था, किन्तु वह मूलतः इससे अभिन्न नहीं था। इसमें फोटॉन के अस्तित्व पर अधिक जोर दिया गया था और इस कारण यह सिद्धान्त भी बहुत चिन्ताकषय था। किन्तु हमें तो ऐसा नहीं मालूम होता कि इसके द्वारा द्वन का वांछित चित्र कुछ भी अधिक अच्छे रूप में प्रस्तुत हुआ हो।

इन कठिनाइयों के कारण कुछ भौतिकज्ञ तो द्वैत के सम्बन्ध में प्रकाश और द्रव्य की वास्तविक समिति के अस्तित्व में ही शका करने लगे हैं। इस बात में हमारा मत बिल्कुल विपरीत है। द्रव्य और प्रकाश की जिम समिति के आधार पर तरंग-यान्त्रिकी का विकास हुआ है, जो चित्त को इतना सन्तुष्ट करनेवाली है और जिम हम नवीन सिद्धान्तों की सफलता का इतना गंभीर कारण समझते हैं उसे किसी भी मूल्य पर छोड़ देने के लिए हम राजी नहीं हैं। इसीलिए पिछले कई वर्षों से हम प्रकाश की यथायत द्वैतमयी धारणा के निकट पहुँचने का प्रयास करने में लगे हैं। हम इस प्रयास के सम्बन्ध में केवल थोड़ा से ही शब्द कहेंगे क्योंकि अभी तो यह दुस्साहस मान ही है।

एक बात ऐसी है जिससे इनकार नहीं किया जा सकता। यद्यपि प्रकाश के द्वैत सिद्धान्त ने द्रव्य के द्वैत सिद्धान्त के निर्माण के लिए नमूने का काम दिया था, किन्तु अब वह इस नवीन सिद्धान्त से पीछे रह गया है। इस अभ्युत्थित तथ्य के पीछे क्या रहस्य है? एक कारण तो निश्चय ही यह रूप है जो तरंग-यान्त्रिकी ने अपनी तीव्र प्रगति के प्रारम्भ में धारण किया था। हम देख चुके हैं कि यह रूप आपेक्षिकीय नहीं था। अतः उसका उपयोग केवल उन्हीं कणिकाओं के लिए हो सकता था जिनका वेग प्रकाश-वेग की अपेक्षा बहुत कम हो। अतः वह फोटॉन के लिए उपयुक्त नहीं हो सकता था। इसके अतिरिक्त उसमें कोई भी समिति-घातन अवयव विद्यमान नहीं था, जिसके द्वारा किसी प्रकार का ध्रुवण निर्दिष्ट हो सके। इन्क्वाइन सिद्धान्त के नमूने पर फोटॉन सिद्धान्त का निर्माण न हो सकने का दूसरा कारण यह है कि फोटॉन में कुछ गुण ऐसे होते हैं जिनके द्वारा इन्क्वाइन से उनकी भिन्नता स्पष्ट प्रकट हो जाती है। एक गुण तो यह है कि बहु-संख्यक फोटॉन का समूह बोस-आइन्स्टाइन सांख्यिकी के नियमों का पालन करता है। इन्क्वाइन के समान फरमी डिरैक-सांख्यिकी के नियमों का नहीं। दूसरे, प्रकाश-वैद्युत प्रभाव में फोटॉन लुप्त हो जाता है—उसका नाश हो जाता है। द्रव्य कणिकाओं में ऐसा कोई गुण नहीं होता।

इन व्यापक अभ्युत्थितियों से हम इस परिणाम पर पहुँचे हैं कि फोटॉन के उपयुक्त सिद्धान्त का निर्माण करने के लिए सबसे अधिक आवश्यकता एक तो इस बात की है

कि तरंग-गणिकी के ऐंग आपभिकीय रूप का उपयोग किया जाय जिसमें ध्रुवण के सन्तान समिति-ध्यानन जययव विद्यमान हा और दूसर उमम कुण्ठमी धात भी निविष्ट करने की आवश्यकता है जो फाटाना तथा सन्ताना का भिन्नता का प्रसट कर मके । इस वाययम का प्रथम भाग तो रिक्त के सम्बन्धान्ति विद्यमान के उपयोग से तुरन्त पूण हा गया । इसका विवरण हम पहा कर चक ह । यन् विन्ति ही ह नि डिरेक का मिद्धान्त सन्तान आपभिकीय भी है और उमम समिति-ध्यानन जययव भी विद्यमान ह जिनका प्रमाण के ध्रुवण म स्पष्टन घनिष्ट मस्य र ह । फिर भी केन्त यह मान लेने से धाम नही च मरगा कि फाटान भी रिक्त के मिद्धान्त के समीकरण का पालन करनेवाली निन्तु उपगणीय द्रव्यमानवाली कणिका ह क्यारि इस प्रकार फाटान का जो प्रतिरूप प्राप्त हागा उमकी समिति वास्तविक फाटान की अपक्षा आधी कही जा सकती है । हमने अनिरिक्त एगा नी मातूम पत्ता ह कि यह इक्कान के समान ही परमी डिरेक-मास्त्रिकी के नियमा का पालन करेगा और प्रमाण वद्यत प्रभाव म वह नष्ट भी नही हो मरेगा । अब जभी इस मिद्धान्त में कुण्ठ और नयी धात निविष्ट करने की अत्यन्त आवश्यकता है । और इस तरीन धात के निगमन या प्रयत्न हमने यह मान कर लिया है कि प्रत्येक फाटान का डिरेक-गणिकाया के सम्मेलन से बना ह—एक से नही । और तज यह भी स्वीकार करना पत्ता ह कि ये दोना कणिकाएँ अथवा अध फाटान परस्पर संपूरक हागे—उम अथ में जिसम कि डिरेक के गतसिद्धात के अनुसार धन इक्कान अण इक्कान का संपूरक हाता ह (परिच्छेद ११ खंड ५), न कि बाह्य द्वारा प्रतिपादित अथ म । संपूरक कणिकाया का ऐसा युग्म द्रय के सम्पर्क में जाने पर अपनी मव ऊजा का उत्सर्ग करके स्वयं नष्ट हा सकता है । इस धात म प्रकाश-वद्युत प्रभाव की मज विनोपताया की मजगपूण व्याख्या हो जाती है । इसका अतिरिक्त $\frac{h}{\lambda}$ के नतनवाली का कणिकाया द्वारा निमित्त हान के कारण फाटान का रोम-आइन्स्टाइन-मास्त्रिकी के नियमा का पालन करना चाहिए । प्लांक के दृष्ण-वस्तु विकिरण के नियम की उत्कृष्ट यथायता की यही माग है । अत में फाटान के रम प्रतिरूप के द्वारा हम फाटान के नष्ट हाने की प्रायिकता से सम्बद्ध ऐमा विद्युत-चुम्बकीय बल-क्षेत्र भी निधारित कर मरन ह जा मकमवल के समीकरण का सन्तुष्ट करता हा और जिसम विद्युत चुम्बकीय प्रकाश-तरंग के सभी लक्षण विद्यमान हा ।

यद्यपि इस प्रयास की सफलता के सम्बन्ध में कोई निश्चित मन प्रकट करने का समय अभी नहीं आया है तथापि इसमें कोई सन्देह नहीं कि इसमें कई चित्ताकषक परिणाम निकले हैं और यह उन संपूर्ण कणिकाओं के समितीय गुणों की ओर हमारा ध्यान प्रबल करने से आवर्षित करता है जिनके अस्तित्व का संकेत डिरैक के सिद्धान्त से मिला था और जिनकी वास्तविकता का धन इलेक्ट्रॉन के आविष्कार ने सत्यापित कर दिया है।*

२ नाभिकीय भौतिक विज्ञान^१

परमाणु के नाभिक^२ सम्बन्धी ज्ञान का विकास पिछले कुछ वर्षों में आश्चर्यजनक वेग से हुआ है और अतुल्य संपदा से परिपूर्ण नाभिकीय भौतिक विज्ञान का निमाण इस समय हो रहा है। अतः शायद यह बान कुछ विचित्र-भी लगे कि हम इतने महत्वपूर्ण विषय पर इतनी दूर में पहुँचे हैं। किन्तु हमारा विचार नाभिकीय भौतिक विज्ञान की रूप रेखा देने का ही नहीं है। इसके दो कारण हैं। पहला कारण तो यह है कि इस क्षेत्र में अभी हाल में ही इतने अधिक आविष्कार हुए हैं कि उनका अंशतः पूर्ण आभास देने के लिए भी या तो हमें इस पुस्तक का एक द्वितीय भाग लिखना पड़ता या इसी का औचित्य की सीमा से अधिक लम्बा कर देना पड़ता। दूसरा कारण यह है कि अभी हमारा नाभिक सम्बन्धी ज्ञान बहुत कुछ प्रायोगिक ही है। नाभिकीय भौतिक विज्ञान में सिद्धान्त की प्रगति अभी बहुत धीमी हुई है और जो कुछ हुई है वह भी अभी अस्थायी अथवा अन्तर्कालीन ही है। बहुत संभव है कि नाभिक के कल्पनाधीन छाने-म प्रयोगों में जो बहु-संख्यक कणिकाएँ संगृहीत और सम्मिश्रित पायी जाती हैं उनके जाचरण की व्याख्या करने के लिए नवीन यांत्रिकी में भी कई परिवर्तन करने पड़ेंगे। कुछ सिद्धान्त—जथा गमा^३ या सिद्धान्त—जो चित्र प्रस्तुत करते हैं वे निश्चय ही अपरिपूर्ण या अज्ञात चित्र^४ मात्र हैं और इस प्रमाण में हाइड्रोजनबम का अत्यन्त विलक्षण प्रयोग भी अभी अपूर्ण प्रादुर्भाव ही है।

* फुटनोट जो १९४६ में जोड़ा गया—इस पुस्तक का समाप्ति के बाद डिरैक नियम (Dirac) तथा फोर्सी की गणितों^५ और उन पर गणितज्ञों से जो आगे आगे प्रस्तावित (Hentz Poincaré Institute) में मुख्यतः गिरार्ड पेटाव (Gerard Petiau) तालियाँ (M. A. Tonnelier) और स्वयं हमारे द्वारा सम्पन्न हुई थीं जिनके कणिकाओं के एक व्यापक सिद्धान्त का निर्माण हुआ है। योग्यता की निम्न तरंग-यंत्रिकी की रूप रेखा हमने यहाँ भी दे दी है। हमारा सिद्धान्त का एक विद्विष्ट रूप है।

1 Physics of the Nucleus 2 Nucleus 3 Provisional 4 Gamow
5 Schematic picture 6 Rough draft

[हाइजनबर्ग का यह सिद्धान्त जब मैसान बल-क्षेत्र के सिद्धान्त^१ के रूप में पूर्णता का प्राप्त कर चुका है किन्तु अभी तक इसका विकास भी बहुत कुछ संशयास्पद ही है । (१९४६)]

वास्तव में नाभिकीय भौतिक विज्ञान की अवस्था अभी तक ऐसी ही है जिसमें केवल तथ्या की सूची बनाकर आनुभविक^२ नियमों की स्थापना हो रही है । बाह्य के सिद्धान्त से पहले जो अवस्था स्पेक्ट्रम विज्ञान की थी वैसी ही अवस्था इस समय नाभिकीय विज्ञान की है । किन्तु हमारा उद्देश्य तो ऐसी पुस्तक लिखने का था जिसमें मुख्यतः समकालीन क्वांटम सिद्धान्तों का ही विवेचन किया जाय । जत हमने यही निश्चय किया कि यद्यपि नाभिकीय भौतिक विज्ञान का आज की वैज्ञानिक प्रगति में बड़ा महत्त्व है फिर भी हमें इसकी चर्चा केवल एक अंतिम खंड में ही करनी चाहिए ।

इसलिए नाभिकीय विज्ञान-सम्बन्धी ज्ञान की आवश्यकतानुसार वृद्धि के विषय में धाड़े से शब्द कहकर ही हम इस चर्चा को समाप्त कर देना चाहते हैं और समस्यायों^३ तथा नाभिकीय नतन^४ के सदन अथ उतने ही महत्त्वपूर्ण प्रश्नों के विषय में कुछ भी नहीं कहना चाहते ।

हमें विदित है कि जिस परमाणु का परमाणु क्रमांक Z हो उसके नाभिक में एक प्रोटॉन के आवेश की अपेक्षा Z -गुणा धन-आवेश होता है और उस परमाणु के लगभग पूरे द्रव्यमान का स्थान भी यही नाभिक होता है । बहुत समय तक ऐसा समझा जाता था कि परमाणु के नाभिक प्रोटॉनों और इलेक्ट्रॉनों द्वारा संघटित होते हैं और नाभिकाभ्यन्तरिक^५ इलेक्ट्रॉनों की अपेक्षा प्रोटॉनों की संख्या में Z की अधिकता होती है तथा लगभग समस्त द्रव्यमान प्रोटॉनों के ही कारण होता है । नाभिक यौगिक^६ होता है यह धारणा बहुत-कुछ स्वात्सर्जिता के निवचन की दन है ।

हेनरी बेकैरैल^७ द्वारा पूर्व प्रेषित स्वात्सर्जिता का वास्तविक आविष्कार पियरे क्यूरी^८ और उनकी पत्नी तथा सहकारिणी थोमसी मेरी स्क्वाडोस्का क्यूरी^९ ने किया था । स्वात्सर्जी पदार्थ वे भारी तत्त्व हैं जिनके क्रमांक मेण्टेलीफ^{१०} की सारणी में सबसे ऊँचे हैं (८३ से ९२ तक) ।

इनका मुख्य लक्षण यह है कि वे स्वतः ही अस्थायी होते हैं । अथान समय-समय पर ऐसे परमाणु के नाभिक का विस्फोट हो जाता है और वह अपभ्रूत हलके परमाणु में

1 Theory of the meson field 2 Empirical 3 Isotopes 4 Nuclear spin 5 Intra nuclear 6 Complex 7 Henri Becquerel 8 Pierre Curie 9 Mme Marie Sklodowska Curie 10 Mendeleeff

परिणत हो जाता है। इस विघटन¹ के माध्य ही भाषारणत उममें ग इलैक्ट्रान (बीटा किरणों)² आयनित हीलियम परमाणु (आल्फा किरणों)³ और उच्च आवृत्ति का अचत वेगशील विचित्रण⁴ (गामा किरणों) उत्पन्नित होत है। इन घटनाओं का आविष्कार भौतिकशास्त्र के लिए अत्यन्त राशक था, क्योंकि इसमें यह प्रमाणित हो गयाथा कि नाभिक वास्तव में योगित⁵ कणिका होत ह और हमारे विघटन के द्वारा इस नाभिक में से अत्य मल्लतर नाभिक उत्पन्न हो जात ह अथवा मध्य-युग के कीमियागर⁶ जिस तत्त्वान्तरण⁷ के स्वप्न र्था करत थे उगवा भी प्रत्यक्ष अनुभव हो गया। दुर्भाग्यवश स्वोत्पन्नित ऐसी घटना है जिग पर हम बार्द प्रभाव अपनी इच्छा से नही डाल सकत। फलत हम इस घटना का बेवज प्रेक्षण ही कर सकते ह, किन्तु उमकी प्रक्रिया में कुछ भी परिवर्तन नही कर सकत। इसलिए स्वोत्पन्नित के आविष्कार के बीस वष बाद जू १९१९ में महान अंग्रेज भौतिकज्ञ लाड रदरफाड का तत्त्व के कृत्रिम विघटन में सफलता मिली तब इस घटना सम्बन्धी ज्ञान के विकास में सहमा बड़ी उन्नति हो गयी। पहले परमाणुओं पर स्वोत्पन्नित पणियों से उत्पन्नित आल्फा-कणों की गाला बारी⁸ से उन्हाने उन परमाणुओं के नाभिकों को ताडने में सफलता प्राप्त कर ली। इससे सरलतर परमाणु प्राप्त हो गये और कृत्रिम तत्त्वान्तरण वास्तव में सम्भव हो गया।* १९३० के बाद लारेंस⁹ द्वारा आविष्कृत¹⁰ साइक्लोट्रोन¹¹ के मदग विलक्षण और प्रचल यथा की सह्यता से नाभिकीय तत्त्वान्तरण की प्रक्रियाओं के लिए आव द्यक गोलाबारी की उत्कृष्टता बड़ी सीधता से बढ़ गयी है। इन अनुसंधानों से ही जोलियो-क्यूरी¹² दम्पति ने एक महत्वपूर्ण आविष्कार कर लिया। उन्हाने यह प्रमाणित कर दिया कि कुछ गोलाबारी की क्रियाओं से अस्थायी नाभिक (कृत्रिम स्वोत्पन्नित तत्व) उत्पन्न हो जाते ह जो बाद में स्वत ही विघटित होकर किसी दूसरे तत्व को तथा विविध प्रकार की किरणों को उत्पन्न कर देते हैं।

१९३१-३२ में न्यूट्रान¹³ तथा धन इलैक्ट्रान या पाजीट्रान¹⁴ नामक दो नवीन

- 1 Disintegration 2 β rays 3 α rays 4 Penetrating radiation 5 Y rays
6 Complex 7 Alchemist 8 Transmutation 9 Bombardment

*यहाँ से देखर इस राड के अन्त तक की विषय-वस्तु पुस्तक के मूल सरकरा में नही थी। वह पेरिस से १९५१ में प्रकाशित लुइ दे ब्रोग्ली की L' Energie Atomique ses Applications नामक पुस्तक से ली गयी है।

- 10 Lawrence 11 invented 12 Cyclotron 13 Joliot Curie 14 Neutron
15 Positron

वर्णित आ विचार म नाभिवाय भोतिर ज्ञान में गभीर परिवर्तन हा गया । बाये तथा चरर^१ व क्यूरी-एम्पनि व नया इड्रिन^२ व अनग गता म मिद हा गया कि ग्लूमीनियम^३ पर आल्फा-कणा की गान्तारी वरन म एर तेमो वर्णित— 'यूटान'^४ उत्पन्न हातो ह जिमवा अस्तित्व अर तर ज्ञान था जोर जा वद्यतिर दृष्टि म अनादिष्ट हातो ह जोर जिमवा द्रव्यमान गभग प्राटान व वगजर ही हाता ह । इमने बाट ता 'यूटान अनर नाभिकीय प्रतिक्रियाआ में तथा अतर्गित विरणा मे भा पाया गया ह ।

धन इन्कट्रान था पाजीट्रान माधारण इन्कट्रान व वगजर द्रव्यमानवागी वर्णित हातो ह और इम पर आरग इन्कट्रान व आवग व धराजर स्निन्तु विपरीत चिह्नीय हाता है । इमवा आविष्कार एडरमा न नया इन्कट तथा जारियालिनी^५ ने अन्तरिक्ष विरणा में किया था । द्रव्य की उपस्थिति में पाजीट्रान अम्यायी हाता ह । वस्तुत उमकी प्रवृत्ति द्रव्य में विद्यमान इन्कट्राना व आवग का नष्ट करने की ह । एक पाजीट्रान तथा एर इन्कट्रान के योगपदिक जिनान^६ स विविरण का उत्पन्न हाता है । दा विजातीय इन्कट्राना ता यह जिनान वास्तव में द्रव्य का द्रव्यत्वविगपन^७ ही ह । इसस विपरीत घटना का भी अस्तित्व है । कुछ विशेष परिस्थितिया मे विविरण स भी विजातीय इन्कट्राना व युग्म की सृष्टि के रूप मे द्रव्यत्व-सृजन^८ हो गयता है । ये घटनाएँ और ऐसी ही जय घटनाएँ ऊजा के अवस्थितिव^९ के सिद्धान्त के अनुकूल है । उनमे केवल उमका रूप थोडा बदल जाता ह ।

'यूटान के आविष्कार के बाद हाइड्रनबग ने नाभिन की सरचना के सम्बन्ध म एक नया विचार प्रस्तुत किया था । अनुप्रयोगा की दृष्टि मे पुरानी धारणाआ की अपना मह अत्यन्त उत्कृष्ट मिद हुआ ह ।

इसके अनुमार नाभिक प्रोटाना और इलैक्ट्राना के द्वारा नही किन्तु प्रोटाना और 'यूटाना के द्वारा सपटित हाता है । प्राकृतिक जयवा कृत्रिम विघटना में जो ऋण इलैक्ट्रान जयवा धन इन्कट्रान उत्पन्न होत है उनका कारण यह नही ह कि ये इलैक्ट्रान नाभिक में पहल से ही विद्यमान थे जैसा कि उस समय तक समझा जाता था । वास्तविक कारण यह ह कि या तो काई नाभिकीय प्रोटान बदलकर 'यूटान बन जाता ह या 'यूटान के रूपान्तरण से प्राटान बन जाता ह और इन क्रियाआ में एक धन या ऋण

1 Bothe and Becker 2 Chadwick 3 Glucinium 4 Neutron 5 Cosmic rays 6 Blackett and Occhialini 7 Annihilation 8 Dematerialisation 9 Materialisation 10 Inertia

इलेक्ट्रॉन की गृष्टि हो जाती है। इस मात्रा के अनुसार पारमाणविक शक्ति में मूलतः एक ही भारी कणिका 'यूरेनियम' होती है और प्राप्ता तथा यूरेन इन्ही कणिका की दो अवस्थाएँ होती हैं—एक धाविष्ट और दूसरी अनाविष्ट। आज्ञा का नाभिकीय सिद्धान्त इन्हीं विचारों पर आश्रित है और जिन नाभिकीय घटनाओं की चर्चा अब हम करेंगे उनकी प्रागुक्ति में इसमें बहुत गह्रायता मिली है।

अब हम उस ऊर्जा के उपयोग की अपित स्पष्ट कर देना चाहते हैं जो पारमाणविक ऊर्जा कहलाती है किन्तु जिन वास्तव में नाभिकीय ऊर्जा कहना चाहिए क्योंकि वह पूरे परमाणु में व्याप्त नहीं रहती, किन्तु केवल केन्द्रीय नाभिक में ही मजबूत रहती है। दीर्घकाल में मनुष्य को उस ऊर्जा के उपयोग की विधि मालूम है जो परमाणुओं की पारस्परिक प्रतिक्रिया से उस समय प्रवृत्त होती है जब परमाणुओं के मयोजन से नये अणु बनते हैं या जब पहले से विद्यमान अणु के विघटन से परमाणु अलग-अलग हो जाते हैं (रासायनिक ऊर्जा)। परमाणुओं के मयोजित अवस्था के ये रूपान्तरण बहुधा ऊष्माक्षेपक होते हैं अर्थात् उनमें ऊष्मा की उत्पत्ति होती है और हम इस ऊर्जा का लाभ दायक उपयोग कर सकते हैं। इसका सरलतम उदाहरण दहन द्वारा आक्सीकरण है जिसे हम 'जलना' कहते हैं और जिसके आखिरी पक्ष में आद्य-मानव के इतिहास में निस्सन्देह ही अत्यन्त वास्तविक मोड़ लिया था। नाइट्रो-ग्लिसरीन और टी० एन० टी० जैसे प्रचण्ड विस्फोटक पदार्थों के आविष्कार ने हमें यह भी सिखा दिया था कि अत्यन्त ध्वंसकारी प्रभावा का उत्पन्न करने योग्य ऊर्जा की प्रचुर मात्रा स्वल्प काल में किस प्रकार प्राप्त की जा सकती है। किन्तु इन सब बातों का सम्बन्ध तो केवल रासायनिक ऊर्जा से है जो उन घटनाओं से उत्पन्न होती है जो परमाणु की बाह्य सीमा के निकट घटती हैं और जिनसे केवल परमाणुओं के पारस्परिक बंधन का ही परिवर्तन होता है।

तब पारमाणविक ऊर्जा कहलानेवाली इस नवीन प्रकार की उपयोग्य ऊर्जा की विशेषता क्या है? यह विशेषता इस बात में है कि इस ऊर्जा का उद्गम परमाणु का वह भीमान्त प्रदेश नहीं है जहाँ आणविक बंधन बनते और बिगड़ते हैं किन्तु वह अन्तर्गम्य प्रदेश है जो नाभिक कहलाता है। हम बता चुके हैं कि लगभग ४० वर्षों से हमें मालूम है कि प्रत्येक परमाणु के केन्द्र में एक नाभिक होता है जो उस परमाणु के रासायनिक

- 1 Nucleon 2 Atomic energy 3 Nuclear energy 4 Chemical energy
5 Exothermic 6 Combustion 7 Oxidation 8 Nitro glycerine 9 T N T
10 Innermost

विनिष्टता का निधारित होता है और जिसमें उससे द्रव्यमान का अधिकांश भाग अवस्थित होता है। इस नाभिक के चारों ओर के जमावारागण छोट विन्तु नाभिकीय परिमाण की अपेक्षा अत्यन्त बड़ा प्रमाण में भीमान्वर्ती अणुवृत्त परिभ्रमण करते हैं। परमाणु के इसी बाह्य प्रमाण के भीतरी भाग में वे प्रतिक्रियाएँ होती हैं जिनमें एमग निरण का उगमजन होता है और इसी का बाह्य भाग दृश्य प्रतिक्रिया का तथा रासायनिक घटनाओं की प्रयत्न प्रतिक्रियाओं का उत्पन्न स्थान है। हम पहले ही स्पष्ट कर चुके हैं कि दीघकालीन प्रयत्न के बाद भी परमाणुविक नाभिकों की आन्तरिक गतिविधियाँ स्पष्टतः समान में अमर रहने पर भीतर का जन्म में इस परिणाम पर पहुँचे थे कि नाभिक का एका समुच्च निराय समयना चालित जा रहा प्रमाण की वणिताओं—प्रादाना और यूदाना—के सम्प्रेषण द्वारा निर्मित होता है और ज्या-ज्या परमाणु तथा नाभिक का भार बढ़ता जाता है त्या-त्या इस वणिताओं की संख्या भी बढ़ती जाती है। इन निवाया की गतिविधियाँ यथायत्न समी होती हैं और उह स्वायत्त प्रदान करनेवाले बंधु किम प्रकार के होते हैं इत्यादि बातों का ज्ञान तो अभी प्रारम्भिक अवस्था में ही है। नाभिक की इन आन्तरिक घटनाओं का समयने के लिए अभी उगमें बहुत उत्पत्ति करने की आवश्यकता है। विन्तु जिस बात का निश्चित ज्ञान हुआ अधिक बंध नहीं हुए यह यह है कि परमाणुओं के भीमान्वर्ती परिवर्तना के द्वारा—विशेषकर रासायनिक प्रतिक्रियाओं के द्वारा—हमें जितनी ऊर्जा प्राप्त हो सकती है उससे बहुत ही अधिक ऊर्जा हमें इन सभाव्य नाभिकीय रूपान्तरणों से प्राप्त हो सकती है और जब इन रूपान्तरणों की संख्या अधिक हो तो यह ऊर्जा अन्त में ऊष्मा के रूप में प्रकट हो जाती है। यह स्मरण रहे कि इसका यह अर्थ नहीं है कि केवल एक ही नाभिक के तत्त्वान्तरण से जा ऊर्जा हमें प्राप्त हो सकती होगी उसकी मात्रा बहुत अधिक होगी। वस्तुतः जितनी ऊर्जा का हम कोई लाभदायक उपयोग कर सकते हैं उसकी अपेक्षा यह एक नाभिक से प्राप्त ऊर्जा बहुत ही कम होगी। किन्तु जितनी ऊर्जा जाणविक रूपान्तरण^१ की जवेली एक प्रक्रिया से उत्पन्न हो सकती है उससे तो यह बहुत ही ज्यादा होगी। फिर भी यद्यपि हमें दीघकाल में ऐसी रासायनिक प्रक्रियाएँ पात थी जिनमें सहसा इतनी अधिक ऊर्जा उत्पन्न हो सकती है कि मानवीय मापदंड से उससे परिणाम भयंकर हो सकत है तथापि नाभिकीय रूपान्तरण के द्वारा प्रचुर मात्रा में ऊर्जा की प्राप्ति केवल पिछले ६ वर्षों में ही हो सकी है। इसका क्या कारण है?

माधारणतः जब किसी बड़ी द्रव्य राशि में कोई रासायनिक प्रतिक्रिया प्रारम्भ होती है तो वह उस समस्त राशि में फैल जाती है। इस प्रक्रिया का प्रारम्भ तो केवल थोड़े-से परमाणुओं से ही होता है किन्तु धीरे-धीरे यह बड़े वेग से फैलकर अमध्य प्रतिवेशी परमाणुओं को ग्रस्त कर लेती है। प्रत्येक परमाणु में से तो बहुत ही थोड़ी ऊर्जा निकलती है, किन्तु अरबों-अरबों परमाणुओं में से निकलनेवाली सम्पूर्ण ऊर्जा का परिमाण उपमाज्य ही नहीं, भीषण भी हो जाता है। किन्तु यद्यपि १९१९ में किये गये रदरफोर्ड के विख्यात प्रयोग के समय से ही हमें यह ज्ञात हो गया था कि नाभिका के आन्तरिक रूपान्तरण अथवा वृत्तम तत्त्वान्तरण किस प्रकार संपन्न हो सकते हैं तथापि उस समय समस्त द्रव्यराशि में केवल थोड़े-से नाभिका का ही रूपान्तरण वस्तुतः हो पाता था। इसमें सन्देह नहीं कि रासायनिक प्रतिक्रिया से प्रत्येक परमाणु में से जितनी ऊर्जा प्राप्त हो सकती है उसकी अपेक्षा प्रत्येक नाभिक में से बहुत अधिक ऊर्जा प्राप्त होती थी। किन्तु इन तत्त्वान्तरणों से प्राप्त संपूर्ण ऊर्जा अत्यन्त नगण्य होती थी क्योंकि थोड़े से नाभिका पर की गयी क्रिया पूरी द्रव्यराशि में फैलती नहीं थी।

१९३८-३९ में यूरेनियम के विखंडन^१ के महत्वपूर्ण आविष्कार ने यह स्थिति बिल्कुल बदल दी। इस पृथ्वी में जितने स्थायी रासायनिक तत्त्व हैं उनमें यूरेनियम सबसे भारी है अर्थात् उसके परमाणु का द्रव्यमान महत्तम है। उसके नाभिक में ९२ प्रोटॉन होते हैं क्योंकि उसका परमाणु क्रमांक^२ $Z=92$ है और उसके विभिन्न समस्थानिकों में १४० से १४६ तक न्यूट्रॉन होते हैं। इसकी संरचना बड़ी जटिल है और थोड़ी-बहुत अस्थायी भी है। इस अस्थायित्व के कारण ही उसमें स्वतः ही विघटित होने की प्रवृत्ति होती है और यही उसकी प्रकृत स्वात्सर्जिता का कारण है। १९३८-३९ में हान^३ माइटर^४ स्ट्रासमैन^५ फ्रिश्^६ और जोलियो-क्यूरी^७ की शोधप्रणाली से एक नवीन महत्वपूर्ण नाभिकीय घटना का—यूरेनियम के विखंडन या विदलन^८ का—आविर्भाव हुआ। पहले तो यह देखा गया कि यूरेनियम पर गोलार्वाही करने से यूरेनियम के नाभिक का विघटन हो जाता है। इसके विषय में पहले यह समझा गया कि आपतित न्यूट्रॉन यूरेनियम के नाभिक में समाविष्ट हो जाता है और उसमें से इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन हो जाता है। इसी से ऐसे उत्तर-यूरेनियम^९ तत्त्वों के अस्तित्व की घोषणा की गयी जिनके परमाणु क्रमांक ९२ से अधिक होंगे और जिनके कारण मेण्डलीफ श्रेणी यूरेनियम से आगे की तरफ बढ़ जायगी। किन्तु ऐसे तत्त्व

1 Fission 2 Atomic number 3 Hahn 4 Meitner 5 Strassmann
6 Frisch 7 Joliot Curie 8 Splitting 9 Trans uranic

साधारणतः प्रवृत्त जगत् में उपलब्ध नहीं होते । इसके बाद अथ गवेपणाआ से (फ्रांस में मुख्यतः जालिया-न्यूरी की गवेपणाआ से) यह प्रमाणित हो गया कि जय किमी विशेष प्रकार के यूरेनियम नाभिकों पर 'यूटाना' की टक्कर लगती है तब इन नाभिकों के लगभग बराबर भार के दो टुकड़े होकर दो नये नाभिकों की सृष्टि हो जाती है । यूरेनियम-नाभिकों का ऐसा विस्फोट अनेक प्रकार से हो सकता है और विभिन्न परिस्थितियों में जो नवीन नाभिक उत्पन्न होते हैं वे स्वयं भी अस्थायी होने हैं और बाद में उनका भी तत्त्वान्तरण हो जाता है और उनमें से धन अथवा ऋण इलेक्ट्रॉनों का उत्पन्न भी होता है ।

यूरेनियम के विखंडन के आविष्कार के बाद कुछ समय तक ऐसा समझा जाने लगा कि यूरेनियम-नाभिकों पर 'यूटाना' की टक्कर से उत्तर-यूरेनियम तत्त्वों की उत्पत्ति संभव है, यह धारणा बिल्कुल गलत थी । किन्तु इस समस्या के अधिक गंभीर अध्ययन से प्रकट हुआ कि वास्तव में यूरेनियम पर 'यूटाना' की बौछार करने से दोनो ही काम होते हैं । विखंडन भी होता है और उत्तर-यूरेनियम तत्त्वों की सृष्टि भी होती है । इस बात का समझने के लिए हमें समस्थानिकों की धारणा का सहारा लेना पड़ेगा । यूरेनियम प्रकृति में जिस रूप में पाया जाता है उसमें दो समस्थानिकों का मिश्रण होता है । दोनो का ही परमाणु नम्बर ९२ होता है । बहुलतर^१ समस्थानिक U_{238} का परमाणु भार २३८ होता है और उसके नाभिक में ९२ प्रोटॉन तथा १४६ 'यूट्रॉन' होते हैं । दूसरे समस्थानिक U_{235} का परमाणु भार २३५ होता है । उसके नाभिक में प्रोटॉनों की संख्या तो उतनी ही (९२) होती है किन्तु 'यूट्रॉन'ों की संख्या केवल १४३ ही होती है । यह प्राकृतिक यूरेनियम में अत्यन्त छोटे अनुपात (७/१०००) में उपस्थित रहता है । यह विरल समस्थानिक बिल्कुल अस्थायी होता है और 'यूट्रॉन'ों की टक्कर से इसी के नाभिकों के विस्फोट से विखंडन की घटना की उत्पत्ति होती है । बहुल U_{238} के नाभिकों में एक 'यूट्रॉन' समाविष्ट हो जाता है जिससे एक नवीन यूरेनियम नाभिक U_{239} बन जाता है । इसका परमाणु नम्बर अब भी ९२ ही रहता है, किन्तु उसमें 'यूट्रॉन'ों की संख्या १४७ हो जाती है । फलतः परमाणु भार २३९ हो जाता है । यह नवीन नाभिक अस्थायी होता है । इसके विघटन से एक इलेक्ट्रॉन उत्पन्न होता है और एक नवीन नाभिक भी उत्पन्न होता है जिसका परमाणु नम्बर ९३ और परमाणु-भार २३९ होता है (९३ प्रोटॉन और १४६ 'यूट्रॉन') । इस प्रकार एक ऐसे नवीन तत्त्व

की सृष्टि हो जाती है जिसका प्रवृत्ति में अस्तित्व होता ही नहीं। इसका नाम नेप्ट्यूनियम^१ रखा दिया गया है। प्राकृतिक यूरेनियम पर न्यूट्रानों की बौछार से उत्पन्न नेप्ट्यूनियम नामित Np_{94} भी आपतित न्यूट्रानों का अवशोषण करके नेप्ट्यूनियम के भारी समस्थानिक Np_{94} के नाभिकों को जन्म दे सकता है जिसका परमाणु क्रमांक ९३ ही रहता है किन्तु परमाणु भार २४० हो जाता है। यह भारी नेप्ट्यूनियम भी अस्थायी होता है। इसके विघटन में एक इलम्ट्रान उत्पन्न होता है और एक प्लूटोनियम^२ का नाभिक जिसका परमाणु क्रमांक ९४ और परमाणु भार २४० होता है। यह दूसरा उत्तर-यूरेनियम तत्त्व है। संशोधन में प्राकृतिक यूरेनियम पर न्यूट्रानों से गलावारी तरंगों से विरल U_{235} का तो विघटन होता है और बहुल U_{238} से उत्तरोत्तर नेप्ट्यूनियम तथा प्लूटोनियम बन जाते हैं।

ये सब बातें मालूम हुए दस वर्षों से भी अधिक हो गये हैं। और इसके बाद हमें ९४ से भी अधिक परमाणु क्रमांकवाले अन्य उत्तर-यूरेनियम नाभिक बनाने में भी सफलता मिल गयी है। ये निम्नलिखित हैं—अमेरिशियम^३ ($Z=95$), क्यूरियम^४ ($Z=96$), बर्किलियम^५ ($Z=97$), कैलिफोर्नियम^६ ($Z=98$), एडमियम^७ ($Z=99$) और शायद शीघ्र ही प्राप्त हो जायगा सेट्यूरियम^८ ($Z=100$)। ये सब नाभिक बहुत ही अस्थायी होते हैं और प्राकृतिक स्वोत्सर्जिता के कारण ये विघटित हो जाते हैं। संभव है कि सृष्टि के प्रारम्भ में इनका अस्तित्व प्रकृत जगत में रहा हो किन्तु प्राकृतिक स्वोत्सर्जिता के कारण बहुत शीघ्र ही इनका नाश हो गया होगा। बीसवीं शताब्दी के मध्य में मनुष्य इन विलुप्त तत्वों के पुनः सृजन में सफल हो गया है। यह बात आश्चर्यजनक है कि मानव-बुद्धि इस जगत् के विकास की प्राकृतिक धारा को कम-से-कम हम पृथ्वी पर परिवर्तित करने में समर्थ हो गयी है।

अब फिर नाभिकीय ऊर्जा पर लौट आइए। विखंडन के आविष्कार से पहले उपयुक्त नाभिकीय प्रतिक्रियाओं में भाग लेनेवाले परमाणु-नाभिकों की संख्या बहुत थोड़ी होती थी और इन प्रतिक्रियाओं में इतनी सहायक मनोहरता होने पर भी वे केवल प्रयोगशाला का सामान ही समझी जाती थी। उनका कोई व्यावहारिक उपयोग नहीं था। किन्तु १९३९ में भौतिकज्ञों ने इस बात को समझ लिया कि उनके सामने एक भयानक नवीन सम्भावना उपस्थित हो गयी है। बात यह है कि जब विखंडन की

1 Neptunium 2 Plutonium 3 Americium 4 Curium 5 Berkeleium
6 Californium 7 Aethenium 8 Centurium

घटना में नये यूट्राना की भी उत्पत्ति होती है तो इन नये यूट्राना से भी अय प्रति वशी परमाणुओं का विखंडन संभव होना चाहिए। अतः यदि परिस्थिति अनुकूल हो तो यूरेनियम में विद्यमान अय U_{235} के परमाणुओं में भी यह विखंडन शृंखला नम^१ से फैल सकना चाहिए। किन्तु प्रत्येक विखंडन की क्रिया से एक अणु^२ के तीन करोड़वें भाग के बराबर गतिज ऊर्जा उमुक्त होती है और यह ऊष्मा में परिवर्तित हो सकती है। यह ऊर्जा विखंडित नाभिक की ऊर्जा में से ही प्राप्त होती है। इस ऊर्जा की मात्रा तो अत्यन्त स्वल्प होती है किन्तु यदि यह विखंडन पूरे यूरेनियम-पुंज में फैल जाय तो संपूर्ण उमुक्त ऊर्जा का परिमाण बहुत ही बड़ा हो सकता है। इस प्रकार एक क्लियाम विरल U_{235} के विखंडन से, नाभिका की अति बृहत् सत्त्वा के कारण, इतनी अधिक ऊष्मा उत्पन्न हो सकती है कि जिससे दस लाख टन पानी का टेम्परेचर ० से बढ़कर 100°C हो जाय। सिद्धान्ततः इस क्रिया के द्वारा डाइनेमाइट^३ जैसी प्रचंड विस्फोटक से भी दस लाख गुणा प्रचंड विस्फोटक हमें प्राप्त हो सकता है।

किन्तु अभी इस भयंकर संभावना का वास्तविकता में परिणत करने का काम बाकी था। अधिक विस्तार में न जाकर हम केवल इतना ही कहेंगे कि इस प्रयत्न ने दो मार्गों का अनुसरण किया। (1) प्राकृतिक यूरेनियम में जो विरल समस्थानिक U_{235} अत्यन्त स्वल्प अनुपात में वर्तमान रहता है उसका पृथक्करण। इसका उद्देश्य यह था कि हमें ऐसा पदार्थ मिल जाय जिसमें विखंडित हो सकने योग्य नाभिक बहुत बड़ी सत्त्वा में विद्यमान हों। (2) U_{235} पर यूट्राना की क्रिया से प्लूटोनियम का उत्पादन। यह प्लूटोनियम भी U_{235} के समान ही विखंडित हो सकता है। अतः यह भी पारमाणविक बम बनाने के काम में आ सकता है। U_{235} और प्लूटोनियम दोनों के ही बम बनाये गये। हिरोशिमा पर जो बम डाला गया था वह शायद प्रथम प्रकार का था और नागासाकी^४ वाला बम शायद द्वितीय प्रकार का था। पिछले युद्ध की समाप्ति के बाद बम बनाने की इन विधियों में निष्पक्षता प्राप्त हो गयी है और जा समाचार मिले हों उसके अनुसार अब एक नवीन प्रकार के बम का निर्माण होने ही वाला है जिसमें हाइड्रोजन जैसे हलके परमाणु के समस्थानिक के नाभिक के तत्त्वांतरण का उपयोग किया जायगा। यही विस्फोटक हाइड्रोजन बम होगा।*

1 Chainwise 2 Erg 3 Dynamite 4 Hiroshima 5 Nagasaki

*अब यह हाइड्रोजन बम निस्सन्देह बन चुका है।

ग्रीक दार्शनिकों की सरल कल्पनाओं से प्रारम्भ करके हमने परमाणु-गण में छिपी हुई ऊर्जा पर मानव-आधिपत्य प्राप्त कर लिया है। पारमाणविक ऊर्जा का मानव हित के लिए उपयोग करने की संभावना ने मानव इतिहास में एक नवीन युग की स्थापना कर दी है। मानव-बुद्धि सच्चा अभिमान कर सकती है कि गभीर और अनवरत प्रयास के द्वारा द्रव्य की आन्तरिक संरचना के रहस्य का उन्धाटन करने में उसने इतनी सफलता प्राप्त कर ली है कि ऊर्जा का जो खजाना उसमें संचित है उसका उपयोग अब हम कर सकते हैं। इस दृष्टि से वैज्ञानिकों के जिस शताब्दियाँ-व्यापी परिश्रम ने उन्हें द्रव्य की असतत संरचना में अधिकाधिक स्पष्ट रूप से परिचित कर दिया है उसकी गाथा एक महाकाव्य है जिसको अब तो दिव्यत्व भी प्राप्त हो गया है।

लूई दे ब्रोगली का संक्षिप्त जीवनवृत्त

तरंग-यांत्रिकी व स्रष्टा लूई-ब्रोगली एक विषय विख्यात वैज्ञानिक हैं जिनकी भौतिक विज्ञान सम्बन्धी गहरी गणनाओं ने तथा उनकी आवर्णीक भावनाओं ने आधुनिक भौतिक विज्ञान का अति गभीर स्पागर कर दिया है जो उस इस समय के अग्रगण्य बनानिया में प्रतिष्ठित कर दिया है ।

उनका जन्म प्रायः के दीप नगर में १८०२ में हुआ था । १८१६ में वे पेरिस जात कुल के वराज ह । उनकी माध्यमिक शिक्षा पेरिस में १८१८ में हुई थी और १९०९ में वे पेरिस विश्वविद्यालय में दृष्टिगत में स्नातक हुए थे । १८३५ में वे पेरिस में रुचि होने के कारण दृष्टिगत और प्राचीन विज्ञानसमय जीवित व परित्याग में वे पुनः पेरिस विश्वविद्यालय में लौट गए और १८३५ में स्नातक की परीक्षा में हाँ हाँ ।

जिनका अध्ययन चिर प्रतिष्ठित यांत्रिकी में किया जाता है उनमें तो कणिकाओं के गुणों का ही लगभग पूर्ण प्राधान्य रहता है किन्तु परमाणु-स्तरिय कणिकाओं में तरंगीय गुण प्रमुख हो जाने हैं। अपने मिथ्यात्व की गंभीर श्रान्तिकारी धारणाओं से भयभीत होकर उन्होंने अनेक परिवर्तनाओं के द्वारा चिर प्रतिष्ठित भौतिक विज्ञान के परम्परागत नियतिवादी निवचना का सुरक्षित रखने का प्रयत्न किया। किन्तु विक्ट कठिनाइयों के कारण उन्हें ऐसे प्रायिकत्व मूलक तथा नियति-वज्रक निवचना का समर्थन करने के लिए बाध्य होना पड़ा जिनमें चिरप्रतिष्ठित यांत्रिकी को किसी अधिक व्यापक तरंग यांत्रिकी का केवल एक विशेष रूप माना जाता है। चार वष शायद इन मिथ्यात्वों का प्रायोगिक समर्थन वैल-टेलीफोन की प्रयोगशाला में कुछ अमरीकी भौतिकीयों द्वारा सम्पन्न हुआ जिन्होंने देखा कि इलेक्ट्रानों और प्रोटानों के सदृश पारमाणविक कणिकाओं में उनकी आनुप्रायिक तरंगों के कारण प्रकाश और एक्स किरणों के समान ही विवर्तन की घटना का अस्तित्व होना चाहिए। बाद में इही विचारों का व्यावहारिक उपयोग चुम्बकीय 'स्पेन्स' के विकास में हुआ जिन पर इलेक्ट्रान सूक्ष्मदर्शक आधारित है।

१९२९ में लुई-दे-ब्रोग्ली को नोबल पुरस्कार मिला और उसी वर्ष 'फ्रेंच एकेडमी ऑफ साइन्सेज' (फ्रान्सीसी वैज्ञानिक अकादमी) ने उन्हें 'आरी प्वाक्रे-पदक' प्रदान किया। यह पदक उसी वर्ष प्रथम बार प्रदान किया गया था। १९३३ में वे उस अकादमी के सभासद भी निर्वाचित हो गये और १९४२ में 'एमील पिकार' के स्थान में उसके चिर स्थायी सभासद भी नियुक्त हो गये।

इनके अतिरिक्त १९२६ से वे निक्षण सम्बन्धी मामलों में भी कार्य कर रहे हैं। १९२८ में उन्होंने 'पेन्नि के सारबोन' में और हैम्बुर्ग विश्वविद्यालय में कई व्याख्यान दिये और आरी प्वाक्रे इन्स्टीट्यूट में वे सैद्धांतिक भौतिकी के प्रधानाध्यापक नियुक्त किये गये और उनके ही प्रयत्न से यह संस्था समकालीन भौतिक विज्ञान के अध्ययन के लिए एक केन्द्र बन गयी। विज्ञान और गणित में सहयोग की वृत्ति के कारण जो कठिनाइयाँ उत्पन्न हो गयी थी उन्हें दूर करने की इच्छा से १९४३ में उन्होंने प्वाक्रे इन्स्टीट्यूट की एक और शाखा की स्थापना की जिसका उद्देश्य अनुप्रयुक्त यांत्रिकी का अध्ययन था। विज्ञान के व्यावहारिक अनुप्रयोगों में उनकी रचि उनकी

मुछ हाज की पुस्तका म नी प्रसट होतो ह जा 'तणिवा-त्वरित्रा' तरग प्रणाला', पारमाणविक ऊजा' तथा माइक्रोस्कोपि' आदि विषया पर लिखी गयी ह ।

लर्ड-इन्स्रागरी ३ पारमाणविक तणिवाआ तथा प्रसंग विज्ञान पर महत्वपूर्ण वार्ता पुस्तकें प्रकाशित बा ह । यथा—सर्वा विज्ञा तथा सामा विज्ञा पर अपन भाई के महयाग म लिखी हुई पुानी पुस्तक तरग-यात्रिकी पर भौतिक अनुसंधान पत्र तथा पारमाणविक तथा नाभिकाय मिद्वान्ता पर उच्च वाक् की पाठ्य पुस्तकें । इन नवीन मिद्वान्ता व दागारि पभा वा विवचन इहान अपन व्याख्याना जीर गरप्रिय पुस्तका में रिया ह । इन क्षत्र म उनकी नवीनतम पुस्तक आपनिक भौतिक विज्ञान के १९११ की प्रथम भौतिकीय गान्ध राग्रम म रार आज तर के इतिहास के विषय में लिखी गयी ह ।

उनके माहिचिर काय व वारण १० ६५ म व फामीमी अरादमी' के सदस्य निरा चित हुए । के फामीमी वानिक 'रेगर मध' व सम्मानित सभापति ह और १९५० में उन्हें वैज्ञानिक लेखन की उत्कृष्टता के लिए 'रॉयल प्रतिष्ठान' द्वारा प्रदत्त प्रथम पुरस्कार मिला था ।

जुन १९४५ में फामीमी सरकार ने पारमाणविक ऊजा के उच्च आयाग' की स्थापना की तो लर्ड-इन्स्रागरी उमके सचनीवी परामगदाता नियुक्त किये गये और जब १९५१ में उम आयाग वा पुन गठन हुआ तर भी व परामगदात्री वानिक 'कीमिल' के सम्बर बने रह ।

कालानुक्रमणिका

बीसवी शताब्दी की क्वांटम तथा पारमाणविक सिद्धान्तों के विराम सम्बन्धी महत्त्वपूर्ण घटनाओं की कालानुक्रमणिका।

१९०१—वृष्ण विक्षरण की क्वांटम परिवर्तना। आधुनिक भौतिकी में क्वांटम की धारणा का प्रथम प्रादुर्भाव (प्लांक)।

१९०५—विशिष्ट आपक्षिकता का सिद्धान्त (आइन्स्टाइन)।

—प्रकाश-वद्युत प्रभाव की प्रकाश-क्वांटम (फोटॉन) के द्वारा व्याख्या (आइन्स्टाइन)।

१९०७—विशिष्ट-ऊष्मा का क्वांटमीय निवचन (आइन्स्टाइन तथा डिवाई)।

१९१०—परमाणु का ग्रहीय प्रतिरूप (रदरफोर्ड)।

१९१३—परमाणु के ग्रहीय प्रतिरूप का सैद्धान्तिक आधार और स्पेक्ट्रमीय रेखाओं की व्याख्या (बोर्)।

—समस्थानिकों का आविष्कार (रामसन)।

१९१६—आपक्षिकता का व्यापक सिद्धान्त (आइन्स्टाइन)।

—पुराने क्वांटम सिद्धान्त की परीक्षा (सामरफेल्ड तथा विल्सन)।

—आनुवंशिक नियम का प्रतिपादन (बोर्)।

१९१९—कृत्रिम स्वतःसंज्ञिता (रदरफोर्ड)।

१९२३—कॉम्पटन प्रभाव का आविष्कार और निवचन (कॉम्पटन तथा डिवाई)।

—द्रव्य-कणिकाओं की तरंगीय प्रकृति की परिकल्पना (दे ब्रोग्ली)।

—प्रकाश के वर्ण विक्षेपण का क्वांटम सिद्धान्त (कामस, हाइज़नबर्ग)।

१९२५—क्वांटम-यांत्रिकी अथवा मट्रिक्स-यांत्रिकी (हाइज़नबर्ग)।

—इलेक्ट्रॉन के गतन की परिकल्पना (उहलनबेक तथा गूडस्मिथ)।

१९२७—अनिश्चितता के अनुबंधों का प्रकाशन (हाइज़नबर्ग)।

—संशोधन सिद्धान्त और नाविक-तरंग सिद्धान्त (दे ब्रोग्ली)।

—तरंग-यांत्रिकी का परिशुद्ध रूप (दे ब्रोग्ली आर्डीगर)।

—स्वकटान विद्यन का प्रायोगिक प्रमाण जीव द्रव्य-वर्णा की तरगीय प्रकृति (चिमन तथा गमर) ।

१९२८—परमाणु-नाभिका का क्वाटम मिद्धान (गुग्ग प्रभाव) (गमा) ।

१९३०—इस्वकटान का सम्पूर्ण आपभिवीय मिद्धान्त (त्रिव) ।

१९३१—स्वकटान का आग्रिणाग (वाये वजर चडविन) ।

१९३२—पाजीकटान का आग्रिणाग (ऐण्णरगन ट्ण्डेन तथा आग्रियालिनी) ।

१९३५—मेसाना के अन्विज की पन्निन्वा (याराग) ।

१९३८—यूरेनियम का ग्रिगडन (हान माण्टनर इत्यादि) ।

१९४२—प्रथम स्वत पापित पारमाणग्रिज वृत्तलित प्रविशिका (परमी इत्यादि) ।

१९४६—नाभिकीय उमजन का मगान-क्षत्र मिद्धान (हाडावग) ।

१९४८—मेसाना का वृत्रिम उत्पादन (गाडार तथा लटम) ।

१९५२—क्वाटम प्रविशिका के नियतिवादी निवचन का पुनरुद्धार (द-ग्रागली बोह्ल) ।

ग्रन्थ-सूची

Bibliography

(क) चिरप्रतिष्ठित पृष्ठ-भूमि सम्बन्धी साधारण अवलोकनीय ग्रन्थ।

- 1 Maxwell Matter and Motion
- 2 Maxwell A Treatise on Electricity and Magnetism (1946)
- 3 Einstein and Infeld The Evolution of Physics (1938)
- 4 Jeans Physics and Philosophy (1946)
- 5 Planck The Universe in the Light of Modern Physics (1937)

(ख) क्वाडम-सिद्धांत।

- 1 Gamow Mr Tompkins in Wonderland (1940)
- 2 Hoffman The Strange Story of the Quantum (1947)
- 3 Bergmann Basic Theories of Physics Heat and Quanta (1951)
- 4 Perisco Fundamentals of Quantum Mechanics (1950)
- 5 Heitler The Quantum Theory of Radiation (1944)

(ग) विशिष्ट प्रसंग।

- 1 Loeb The Nature of a Gas (1931)
- 2 Rutherford The Newer Alchemy (1937)
- 3 Frank Relativity and its Astronomical Implications (1943)

- 4 Heisenberg The Physical Principles of the Quantum Theory (1930)
- 5 Herzberg Atomic spectra and Atomic Structure (1937)
- 6 Coulson Valence (1952)

(घ) लुइ दे ब्रोग्ली के अय ग्रन्थ ।

- 1 Matter and Light (New York 1937)
- 2 Continu et Discontinu en Physique Modern (Paris, 1941)
- 3 De la Mecanique Ondulatoire a la Theorie du Noyau (Paris, 1946)
- 4 Physique et Microphysique (Paris, 1947)
- 5 Optique Electronique et Corpusculaire (Paris, 1947)
- 6 L Energy atomic et ses Applications (Paris, 1951)

पारभाषिक शब्दावली

हिन्दी-अंगरेजी

अवर्णीय	Non-corpuscular
अचर	Constant
अचर वेग	Constant velocity Uniform vel
अणु	Molecule
अति-क्वाटमीकरण	Super-quantisation
अतिचालकता	Super conductivity
अतिव्याप्त होना	Overlap
अतिव्याप्ति	Overlapping
अदिष्ट	Scalar
अद्वितीय	Unique
अधिमायता	Postulate
अधिमाय नियम	Postulate
अधिष्ठित (आकाश)	Occupied (space)
अधिमख्य	Super numerary
अध्यारोपण	{ Superimposition { Super position
अनन्त	Infinite
अनन्तस्पर्शी	Asymptotic
असीमी	Infinity
अनय ससक्न	Isolated
अनाविष्ट	Neutral (electrically)
अनियतिवादी	Indeterministic
अनिर्णीत	Indeterminate
अनिर्णीतता	Indeterminacy Indeterminism

निश्चितता	Uncertainty Ambiguity
निश्चितता के अनुप्रध	Uncertainty Relations
नुकल	Integral
नुकल, प्रथम	First Integral
नुकल, रखिक	Line integral
नुकलन	Integration
नुक्रम	Sequence
नुनाद	Resonance
नुयस्त	Oriented
नुपात	Ratio proportion
नुपानी	Proportional
नुप्रयोग	Application
नुप्रयुक्त	Applied
नुप्रस्थ	Transverse
नुबन्ध	Relation
नुभवगम्य	Appreciable
नुस्वी	Corresponding
नुस्थापन	Orientation
न्तराल	Interval
न्तरालित	Spaced
न्तरिक्ष किरण	Cosmic rays
न्त कालीन	Provisional
न्त परमाणु	Intra-atomic
न्योय क्रिया	Interaction
न्योन्य प्रभावक	Interacting
न्योन्यानुवर्तक	Reciprocity
न्योन्यानुवर्ती	Reciprocal
न्यायाश्रयत्व	Interdependence
नपकृष्ट	Degenerate (maths)
नपकेन्द्र बल	Centrifugal force

अक्णीय

अचर

अचर वेग

अणु

अति-क्वादमीकरण

अतिबालकता

अतिव्याप्त होना

अतिव्याप्ति

अदिष्ट

अद्वितीय

अधिमायता

अधिमाय नियम

अधिष्ठित (आकाश)

अधिसूच्य

अध्यारोपण

अनन्त

अनन्तस्पर्शी

अननी

अनय समक्त

अनाविष्ट

अनियनिवादी

अनिर्णीत

अनिर्णीतना

अवस्था-नामीकरण	Equation of state
अवस्थितत्व	Inertia
अप्रिवर्णो अययव	Non-diagonal element
अप्रिवर्णन	Uniquely
अप्रिचल	Invariant
अविनाशिता	Conservation
अविभेद्य	Indistinguishable
अविरद्ध	Compatible
अवबहिर्न	Immediate (neighbourhood)
अमनत	Discontinuous
अमयेय	Irreconcilable
अमपीड्यता	Incompressibility
अमरद्ध	Uncoordinated
अमामाय	Anomalous or complex
(जीमान प्रभाज)	(Zeeman effect)
आकार	Size
आकाश	(1) Space (2) Sky
आकाशीय	Spatial
आकुचन	Contraction
आकृति	Shape
आक्सीकरण	Oxidation
आगम	Dogma
आदश गैस	Perfect gas
आदर्शोकरण	Idealisation
आनुभविक	Empirical
आनुस्य	Correspondence
आनुस्य नियम	Correspondence principle
आनुपगिर	Corresponding Associated
आपतन	Incidence
आपतित	Incident

अपरित्याज्य	Indispensable
अपवजन नियम	Exclusion Principle
अपवर्जित	Excluded
अपवत्य	Multiple
अपवत्य, पूर्णांकी	Integral multiple
अपवाद	Exception
अपसारी	Divergent
अप्रगामी तरंग	Stationary wave
अभिदिशा	Sense (of a direction)
अभिलम्ब	Normal (to a surface)
अभिलम्बत	Normally
अभिव्यक्ति	Significance
अमूर्त	Abstract
अर्ध दिष्ट	Half-vector
अर्ध-पूर्णांक	Half-integer
अर्ध-पूर्णांकी	Half integral
अधायु	Half-life
अल्पान्तरी	Geodesic
अवकल	Differential
अवकलज	Derivative
अवकल गुणांक	Differential coefficient
अवकल समीकरण	Differential equation
अवकलन	Differentiation
अवकलन का वण	Order of Differentiation
अवधारण	Concept
अवमंदित	Damped (motion)
अवरक्त	Infra-red
अवरोध	Obstacle
अवशोषण	Absorption
अवस्थापन	Localisation

अवस्था-समीकरण	Equation of state
अवस्थितत्व	Inertia
अविवर्णी अयय	Non-directional element
अविवर्ण्यत	Uniquely
अविचल	Invariant
अविनाशिता	Conservation
अविभेद्य	Indistinguishable
अविरुद्ध	Compatible
अपवर्हि	Immediate (neighbourhood)
अमत्तत	Discontinuous
असंश्लेष	Irreconcilable
असंपीड्यता	Incompressibility
असंबद्ध	Uncoordinated
असामान्य (जीमान प्रभाव)	Anomalous or complex (Zeeman effect)
आकार	Size
आकाश	(1) Space (2) Sky
आकाशीय	Spatial
आकुचन	Contraction
आवृत्ति	Shape
आवृत्तीकरण	Oxidation
आगम	Dogma
आदर्श गम	Perfect gas
आदर्शोक्ति	Idealisation
आनुभविक	Empirical
आनुरूप्य	Correspondence
आनुरूप्य नियम	Correspondence principle
आनुपगम	Corresponding Associated
आपतन	Incidence
आपतित	Incident

आपेक्षिकता	Relativity
आपेक्षिकता, विशिष्ट	Special Relativity
आपेक्षिकता, व्यापक	General Relativity
आपेक्षिकीय	Relativistic
आभासी	Apparent
आयन	Ion
आयनित	Ionised
आयाम	Amplitude
आयोग	Commission
आर्थो-हीलियम	Ortho-helium
आलफा-कणिका	Alpha-particle
आवत	Periodic
आवत-कल्प	Quasi-periodic
आवत-काल	Period Periodic time
आवत क्रम	Periodic system
आवर्त-गति	Periodic motion
आवतत्व	Periodicity
आवतन-चक्र	Cycle
आवतामामी	Quasi-periodic
आविष्कार	Invention
आविष्कृत	Invented
आवृत्ति	Frequency
आवेश	Charge
आवेशण	Electrification
इलैक्ट्रान	Electron
इष्ट	Proper
इष्ट-फलन	Proper function
इष्ट-मान	Proper value
ईथर	Ether
उत्तर-यूरेनियम	Trans-uranium

उत्तरात्तर	Successively
उत्तरात्तरवर्ती	Successive
उत्सर्जन	Emission
उदगमन विधि	Inductive method
उद्घातित	Open
उपकरण	Apparatus
उपत्यका, विभव-	Valley of potential
उपयोग	Application
उपलभामिता	Opalescence
उपलब्ध	Available
उपादेय	Admissible
ऊर्जा	Energy
ऊजा, गतिज	Kinetic energy
ऊर्जा, स्थितिज	Potential energy
ऊजा विज्ञान	Energetics
ऊष्मा	Heat
ऊष्मा, पारमाणविक	Atomic heat
ऊष्मा, विशिष्ट	Specific heat
ऊष्मा क्षेपक	Exothermic
ऊष्मा गतिकी	Thermodynamics
ऋण	Negative
एकक	(1) Single individual (2) Singlet
एकमानीय	Single-valued monotonic
एकमुखी	Monotonic
एक-वर्ण	Monochromatic
एक-समान	Uniform
एवात्मक	Identical
एकान्तरत	Alternately
एक्स किरण	X-ray

एरियल	Arial, Antenna
ऐन्ट्रॉपी	Entropy
अव-सारणी	Table of numbers
अंश	(1) Part (2) Numerator
आंशिक अवकलन	Partial Differentiation
वक्र	Orbit
कठार (परिवर्तन)	Rigorous (Calculation)
कण	Particle
कणिका	Corpuscle, particle
कणिका-त्वरित्र	Particle accelerator
कम्पन	Vibration
कल	Curl
कला	Phase
कला-तरंग	Phase wave
कला-वेग	Phase velocity
कल्पित	Imaginary
कारक	Operator (mathematical)
कार्तीय	Cartesian
कार्य	Work
कारण-कारण मिश्रण	Causal theory
कारण-कारण-सम्बन्ध	Causal bond or relationship
कालानुसार	Time integral
किरण	Ray
किरण-द्वारा	Beam
कालिमागर	Alchemist
कुल	Family
कुल सतह	Family of surfaces
कुल वक्र	Family of curves
काल-समय	Black-body
काल-समय	Cat's paw

केंद्रिक	Central
काटि (परिमाण की)	Order of magnitude
काटि (स्वतन्त्रता की)	Degree of freedom
काटि (मैट्रिक्स की)	Rank (of Matrix)
काष्ठक	Enclosure
क्रमगत	Successive
क्रिया	Action operation
क्रिया, दूरत सम्पन्न	Action at a distance
क्रिया का अनुकूल	Integral of action
क्रिस्टल	Crystal
क्वांटम	Quantum
क्वांटम, क्रिया का	Quantum of action
क्वांटम भौतिकी	Quantum Physics
क्वांटम-फ़ील्ड सिद्धान्त	Quantum field theory
क्वांटम-संख्या	Quantum number
क्वांटम, विभव	Quantum potential
क्षय	Extinction
क्षारीय तत्त्व	Alkaline element
खगोलीय यानिकी	Celestial Mechanics
शैल	Shell
गतिकी	Dynamics
गतिकीय	Dynamical
गतिमिति	Kinematics
गति विज्ञान	Dynamics
गत्यात्मक	Dynamic
गत्यात्मक सिद्धान्त	Kinetic theory
गणना	(1) Calculation (2) Counting
गमन पथ	Trajectory path
गड	Hole
गामा किरणें	Gamma rays

गुणात्मक	Qualitative
गुस्त्व	Gravity
गुस्त्वाकपण	Gravitation
गुस्त्व केन्द्र	Centre of gravity
गालाबारी	Bombardment
गोला	Sphere
गोलीय	Spherical
ग्रह	Planet
ग्रहतुल्य	Planetary
ग्रहीय	Planetary
ग्राम-अणु	Gram-molecule
ग्राम-परमाणु	Gram-Atom
ग्रेटिंग	Grating
घटना	Phenomenon
घटनामूलक	Phenomenological
घट-बड	Fluctuation
घन	(1) Cube (2) Solid
घनत्व	Density
घात	Power (algebra), Degree of equation
घातक	Index (Power)
घूर्ण	(1) moment (2) rotating
घूर्ण, चुम्बकीय	Magnetic Moment
घूर्ण-संवेग	Moment of momentum
घूर्ण चुम्बकीय	Gyro-magnetic
घर्जन	Rotation
चक्र	Cycle
चक्रीय अन्तर्गल	Cyclic integral
चतुर्विष्ट	Four-vector
चक्रीय आवर्तकाल	Cyclic period

चालकता	Conductivity
चालन	Conduction
चिर-प्रतिष्ठित	Classical
चुम्बक	Magnet
चुम्बक प्रास्थिकी	Magneto-optics
जटिल	Complex
जटिलता	Complexity
जीमान प्रभाव	Zeeman effect
जीमान प्रभाव, अमामाय	{ Zeeman effect complex Zeeman effect anomalous Zeeman effect normal
जीमान प्रभाव, सामाय	
जैव	
ज्या	Vital
ज्या-गति	Sine
ज्या फलन	Sine motion
ज्यामितीय प्रकाश विज्ञान	Sine function
टेन्सर	Geometrical Optics
टेम्परेचर	Tensor
ढाचा	Temperature
तक्नीकी	Framework
तत्त्व	Technical
तत्त्वान्तरण	Element
तत्त्वान्तरणशील	Transmutation
तत्संगत	Transmutable
तनाव	Corresponding
तरंग	Tension
तरंग-गुच्छ	Wave
तरंग, गोलीय	Wave-packet
तरंग-पृष्ठ	Wave spherical
तरंग प्रणाल	Wave-surface
	Wave-guide

तरंग माला	Wave-train
तरंग-यांत्रिकी	Wave-Mechanics
तरंग, समतल	Wave plane
तरंग-समीकरण	Wave-equation
तरंग-गुच्छ	Wave-group
तरंगाग्र	Wave-front
तरंगांक	Wave-number
तात्कालिक	Immediate, instantaneous
तापदीप्त	Incandescent
तापान्वित	Thermionic
तापीय सक्षोभ	Thermal agitation
ताराभौतिकी	Astrophysics
तीव्रता	Intensity
त्रिगुण	Triple
त्रिज्या	Radius
त्रिविमीतीय	Three-dimensional
त्रिविमीतीय रसायन	Stereo-chemistry
त्वरण	Acceleration
त्वरित्र	Accelerator
दबाव	Pressure
दहन	Combustion
दिक् काल	Space-time
दिगंतराल	Distance in space
दिगानुस्थापन	Orientation
दिग्ग	Azimuth
दिग्गतीय	Azimuthal
दिष्ट	Vector
दिष्टीय	Vectorial
दीर्घकालिक	Secular
दीर्घवृत्त	Ellipse

दीर्घवर्तीय कक्षा	Elliptical orbit
दूर-संचार	Telecommunication
दूषित चक्र (दुश्चक्र)	Vicious circle
दृढ़	Rigid
देहली	Threshold
दालक	Oscillator
दोलन	Oscillation
द्रव	Liquid
द्रव-यानिकी	Hydraulics
द्रव्य	Matter
द्रव्य-तरंग	{ Material wave
	{ Matter wave
द्रव्य बिन्दु	Material point
द्रव्यत्व विलोपन	Dematerialisation
द्रव्यत्व मजन	Materialisation
द्रव्य मान	Mass
द्विष	Doublet
द्विष-रेखा	Doublet line
द्वि-परमाणुक	Diatomic
द्वि-वतन	{ Double refraction
	{ Birefringence
द्वि-साधन	Double solution (of equation)
द्वत	Duality
द्वैतमय	Dualistic
द्वैतीयिक	Secondary
द्वैध	Dual
धारणा	Concept idea
धारा	Current
ध्रुवण	Polarisation
ध्रुवण, वृत्त	Polarisation circular

ध्रुवण, समतल	Polarisation plane
ध्रुवण शील	Polarisable
ध्रुवत्व	Polarity
ध्रुवित	Polarised
ध्वनि	Sound
ध्वानिकी	Acoustics
नक्षत्र	Star
नक्षत्र भौतिकी	Astro-physics
नतक	Spinning
नतन	Spin
नाभिक	Nucleus
नाभिकाम्यन्तरिक	Intra-nuclear
नाभिकीय	Nuclear
नातनिक	Spinor
नात निक्कीय	Spinorial
नाविक-तरंग	Pilot wave
निकल	Nicol
निकाय	System (of bodies)
निगमन	Deduction
निमीलित	Closed
नियताव	Constant
नियतिवाद	Determinism
नियतिमूलक	Deterministic
नियतिवजब	Indeterministic
नियम	Rule Law Principle
नियन्त्रक	Restraining (adj)
निरसन	Elimination
निरूपण बिन्दु	Representative point
निरूपण	Representation
निर्णीत	Determinate

निर्देशांक	Coordinate axis
निर्देशांक तंत्र	System of Coordinate axes
निर्देशांक	Coordinates
नियचन	Interpretation
निविष्ट करना	Introduce
निर्घण	Introduction
निश्चयारम्भ	Definitive
निष्चर	Invariant
नव द्वयमान	Proper mass
नव समय	Proper time
पाम	Data
यूक्लियन	Nucleon
यूट्रान	Neutron
यूनितम क्रिया मिथाल	Principle of Least
यूनितम-समय मिथाल	Principle of least
पश्चान्तरण	Transposition
पट्टी	Band (in spectrum)
पट्टीदार स्पेक्ट्रम	Band spectrum
पद	Term
पद, स्पेक्ट्रमीय	Spectral Term
पदवी	Rank (of Matrix)
परम टेम्परेचर	Absolute Temperature
परम मापक्रम	Absolute scale
परमाणु	Atom
परमाणु क्रमांक	Atomic number
परमाणु भार	Atomic weight
पारमाणविक	Atomic
परा वगनी	Ultra-violet
परास	Range
परिवर्तन	Calculation

परिकल्पना	Hypothesis
परिक्षेपण	Scattering
परिच्छद	Shell
परिच्छिन्न	Precise
परिच्छिन्नता	Precision
परिणमन	Variation
परिपथ	Circuit (electrical)
परिपूरक	Complementary
परिपूरकता	Complementarity
परिमित	Finite
परिलक्षक राशि	Characterising quantity
परिवहन	Transport
परिसीमन } परिमीमा }	Limitation
परिसौर बिन्दु	Perihelion
पाजीट्रान	Positron
पागमन	Transmission
पारबैद्युतांक	Dielectric constant
पारस्परिक ऊर्जा	Mutual energy
पारस्परिक क्रिया	Interaction
पारहेलियम	Parhelium
पारिमाणिक	Quantitative
पूर्ण अपवत्य	Whole multiple
पूर्णाङ्क	Whole number integer
पूर्वापर विरोधहीन	Coherent
पूर्वावधानता	Precaution
परम्परागतिष्ठ	Orthodox
प्रकाश विज्ञान	Optics
प्रकाश विद्युत्	Photo-electricity
प्रकाश-यद्युत्	Photo-electric

प्रकृत-जगत	Nature
प्रकृति	Nature
प्रकृष्ट	Rigorous (calculation)
प्रक्षेप	Throw
प्रक्षप-पथ	Trajectory
प्रगतिशील	Progressive
प्रचरण	Propagation
प्रच्छन्न रूप	Potential implied hidden
प्रणोदित दोलन	Forced oscillation
प्रति इलैक्ट्रान	Anti-electron
प्रतिवृत्ति	Model
प्रति-कथोड	Anti-cathode
प्रतिक्रिया	Reaction
प्रतिपादन	Treatment (of a subject)
प्रतिबन्ध	Condition
प्रतिबिम्ब	Image
प्रतिरूप	Model, image
प्रतिवेश	Neighbourhood
प्रतिषेध	Contradiction
प्रतिस्थापन	Substitution
प्रति-समित	Anti-symmetric
प्रतिविस्थापन-बल	Restoring force
प्रत्ययवाद	Idealism
प्रत्यावर्ती धारा	Alternating Current
प्रत्यास्थ	Elastic
प्रत्यास्थता	Elasticity
प्रदीपन	Illumination, exposure to light
प्रमेय	Theorem
प्रयोग	Experiment
प्रयोग-लब्ध मान	Experimental (value)

प्रयोग बिन्दु	Point of Application (of force)
प्रवणता	Gradient, slope
प्रवाह	Flux
प्रसार	Expansion $\left\{ \begin{array}{l} \text{(in size)} \\ \text{(math)} \end{array} \right.$
प्रसवादी	Harmonic
प्राकाशिक ईथर	Luminiferous ether
प्राकाशिक दिष्ट	Light-vector
प्राक्षेपिक	Ballistic
प्रागुक्ति	Prediction
प्राचल	Parameter
प्राथमिक	Primary
प्रायिक	Probable
प्रायिकता	Probability
प्रायिकता-कलन	Calculus of probabilities
प्रायिकतामूलक	Probabilistic
प्रायोगिक	Experimental
प्राहप	Draft
प्राबैधिक	Technical
प्रिस्म	Prism
प्रेक्षण	Observation
प्रेक्षण गम्य	Observable
प्रेक्षित मान	Observed value
प्रेक्ष्य	Observable
प्रेरण	Induction
प्रेरित	Induced
प्रोटान	Proton
फलन	Function (Maths)
फोटान	Photon
फोटोग्राफिक	Photographic

प्रिज	Fringe
प्रिज, अनीप्त	Fringe dark
प्रिज दीप्त	Fringe bright
बंधन	Bond
चल-गतिकी	Kinetics
बहिर्वेग	Extrapolation
बहु-परमाणु	Multi-atomic
बहुमानी	Multi-valued
बहु	Abundant
बहु-भयोजकता	Multiple valency
बीजानीत	Transcendental (Maths)
बीजीय	Algebraical
बुध (ग्रह)	Mercury
बाधगम्य	Appreciable
बाधुता	Affinity
भार	Weight
भारित माध्य	Weighted mean
भूल	Error
भौतिक	Physical
भौतिक विज्ञान	Physics
भौतिकी	Physics
मन्दन	Retardation slowing (of clock)
मात्रक	Unit
मात्रा	Quantity
माध्य	Mean
माध्यम	Medium
मायता	Validity
मापत्र	Matric
मापदंड	Scale
मापांक	Modulus

मूल कणिका	{ Fundamental particle Elementary particle
मेघिता	Opalascence
मेसान	Meson
मैग्नेटान	Magneton
मैट्रिक्स	Matrix
मैट्रिक्स की पक्ति	Matrix, row of—
मैट्रिक्स का स्तम्भ	Matrix, column of—
यदच्छ	Random, arbitrary
यदच्छता	Randomness
यात्रिक	Mechanical
यात्रिक तुल्यांक	Mechanical equivalent
यात्रिकी	Mechanics
यात्रिकी, शुद्ध	Rational mechanics
योगफल	Addition
योजनात्मक	Schematic
यौगपदिक	Simultaneous
यौगिक	Compound Complex (particle)
रक्तविस्थापक	Red-shift
रक्तान्तिमुक्ती विस्थापन	Red-shift
रचना	Construction
राशि	Quantity
राजन किरणें } रजन किरणें }	X-rays, Rontgen Rays
रूढ़िनिष्ठ	Orthodox
रूपान्तरण	Transformation
रेखा-अनुकूल	Line-integral
रेखित	Linear
सम्ब	Perpendicular
सम्बन्धित	Orthogonal

—	C — — —
—	— — —
—	C — —
द०—	C —
—	— — —
द०—	— — — l —
—	— — — —
—	l — — —
—	() C — — — D = u
द०—	D — —
द०—	R — —
द०—	R tra —
द०—	Ketra tive end s
द०—	km ₂ (N wter)
द०—	Kedite
द०—	Reid
द०—	Disoidal
द०—	Diagonal elements
द०—	Alternatively
द०—	Perturbation
द०—	Evolution development
द०—	Radiation
द०—	Radiant energy
द०—	Scatterme
द०—	Strain deformation
द०—	Deflection
द०—	Disturbance
द०—	Fission
द०—	Disintegration
द०—	Disintegration constant

विचरित होना	Vary
विचलन	Deviation
विचित्रता	Singularity
विचित्र प्रदेश	Singular zone
विचित्र बिन्दु	Singular point
वितरण	Distribution
विदलन	Splitting
विद्युतन	Electrification, charging
विद्युत्-गतिकी	Electro-dynamics
विद्युत्-चुम्बकीय पद्धति	Electro magnetic System
विद्युत प्रकाशिकी	Electro-optics
विनिमय	Exchange
विनिमय ऊर्जा	Exchange energy
विनिमेयता	Interchangeability
विन्दु-कल्प	Point like
विन्दु-यांत्रिकी	Point-Mechanics
वि-यास	Configuration
वि-यामाकाश	Configuration space
विपयय	Inversion
विभव	Potential
विभव उपत्यका	Potential valley
विभव पर्वत	Mountain of Potential
विभाज्यता	Divisibility
विभेदन शक्ति	Resolving power
विमिति	Dimensions of space
विमितीय समीकरण	{ Dimension of Units { Dimensional equation
विरल	Rare
विरोधाभासी	Paradoxical
विलागव	Insulator

विलासित	Insulated
विलोम प्रमेय	Converse theorem
विवर्तन	Diffraction
विवर्तन आकृति	Diffraction figure
विशिष्ट ऊष्मा	Specific heat
	(1) Analysis
विश्लेषण	(2) Resolution (of forces etc)
	(3) Decomposition (spectral)
विश्व-बल	World-force
विश्व रेखा	World-line
विषम (संख्या)	Odd (number)
विषमता	Anomaly
विषम दिक्	Anisotropic
विषम ध्रुवी	Heteropolar
विसरण	Diffusion
विसर्ग	Discharge
विसर्ग नलिका	Discharge Tube
विसमिति	Dis-symmetry
विस्थापन	Displacement
वेधनशील	Penetrating
वैद्युत	Electric
वध द्विक	Reguler Doublet
वैधानिक	Canonical
वधानिकत समुग्मी	Canonically conjugate
वधानिक पद्धति	Formal system
वधानिक प्रक्रिया	Formalism
वैश्लेषिक	Analytical
व्यक्तिगत	Individual
व्यक्तित्व	Individuality
व्यक्तिनिष्ठवाद	Subjectivism

प्रतिकरण	Interference
प्रत्ययशील	Commutative
प्रत्ययहीन	Non-commutative
प्रापक	General
प्रापकीकृत	Generalised
प्रापकीकरण	Generalisation
प्रावहारिक	Practical
पुत्रम	Reciprocal (maths)
पुत्रपन्न	Derived, Derivative
प्रेक्षक	Expression
शक्ति	Power
शब्द विज्ञान	Acoustics
शुद्ध-स्था	Pure case
स्थानता	Viscosity
संज्ञी	Series
सप्तगुण	Sextuple
स्थापन	Verification
सिन्धु	Vector
सिन्धु त्रिगुण	Radius vector
सिन्धुवृत्त	Approximately
सिन्धुवृत्त	Approximation
सिन्धुवृत्त करता	Incorporate
समकालीन	In same phase
समकालीन	Rectangular
समतल	Plane
समता	Equality
समता-स	Isothermal
समता-स	Isotropic
समता-स	Isotop
समता-स	How of star

सम विभाजन	Equipartition
सम-स्थानीय, समस्थानिक	Isotope
सम धर्मो	Homologous
समानधर्मो	Homologous
समाश्रित्य करना	Attribute
समाहरण	Assemblage
समांगी	Homogeneous, Uniform
सम्मिश्र राशि	Complex quantity
सरल आवतगति	Simple Harmonic motion
सरल आनत पद	Harmonic terms
सरल दोलन	Harmonic Oscillator
सहवपण	Drag
सहचरण, सहचरत्व	Co-variance
साधन	Solution (of equation)
सामान्य	Normal
सामायीकरण	Normalisation
सामूहिक अवस्था	Collective state
सार्वत्रिक नियतांक	Universal constant
सिद्धान्त	Theory Principle
सैद्धांतिक	Theoretical Theorist
सीमांत दशा	Limiting case
सुरंग प्रभाव	Tunnel effect
सूक्ष्म मापदंडीय } सूक्ष्म-स्तरीय }	Microscopic
सूक्ष्म रचना	Fine structure
सौर जगत } सौर मंडल }	Solar System
सकल्पना	Pastulate, Assumption
सकालत्व	Synchronism
सकालन	Synchronisation

सकालित करना	Synchronise
संवेताक	Index
संकायण	Pooling
संक्रमण	Transition
संक्रमणिक	Critical
संशोभण	Perturbation
संघ	Group, System
संघटक	Component
संघट्ट	Collision
संघनित	Condensate : condensed
संघ सिद्धांत	Group Theory
संघय	Combination (algebra)
संचालन शक्ति	Motive power
सतत	Continuous
संतुलन	Equilibrium
संतृप्त	Saturated
संतृप्ति	Saturation
संपाती	Coincident
संपुट	Shell
समिति	Symmetry
संयुग्मी	Conjugate
संयोजकता	Valency
संयोजकता दिष्ट	Valency, directed
संयोजकता, बहु	Valency, multiple
संयोजन नियम	Principle of Combination
संरचना	Constitution, Structure
संलग्न	Attached
संयतन	Becoming
संवहन	Convection
संवा	Momentum

संश्लेषण	Synthesis
संश्लेषात्मक	Synthetic
समजन	Cohesion
संस्थान	(1) Framework (2) System
संहति	System (of equations)
सांकेतिक	Symbolic
सांकेतिकता	Symbolism
सांख्यिक मान	Numerical value
सांख्यिकी	Statistics
सांख्यिकीय यान्त्रिकी	Statistical Mechanics
सातत्य	Continuity
सातत्यक	Continuum
स्थायी	Stable
स्थावर अवस्था	Stationary state
स्थितिज ऊर्जा	Potential energy
स्थिर अनुकूल	Stationary integral
स्थिर क्रिया	Stationary action
स्थिर-वैद्युत पद्धति	Electrostatic system
स्थिरोज क्षेत्र	Conservative field
स्थूल-मापदंडीय } स्थूल-स्तरीय }	Macroscopic
स्थैतिक	Static
स्थैतिकी	Statics
स्पर्श रेखीय	Tangential
स्पष्ट	Explicit (Maths)
स्पष्टत	Explicitly
स्पेक्ट्रम	Spectrum
स्पेक्ट्रम विज्ञान	Spectroscopy
स्पेक्ट्रम वैज्ञानिक	Spectroscopist
स्पेक्ट्रमीय	Spectral

स्वच्छन्द	Arbitrary
स्वतन्त्र इलेक्ट्रान	Free electron
स्वतन्त्र बन्धन	Free binding
स्वल्पांतरालित	Closely spaced
स्वेच्छ	Arbitrary
स्वोत्सर्जो	Radio-active
स्वोत्सर्जिता	Radio activity
हर	Denominator
हल	Root (of equation)

अंग्रेजी-हिंदी

Absolute Scale	परम मापक्रम
Absolute Temperature	परम टेम्परेचर
Absorption	अवशोषण
Abstract	अमूर्त
Acceleration	त्वरण
Accelerator	त्वरित्र
Acoustics	ध्वनिकी गब्द विज्ञान
Action	क्रिया
Affinity	संघुता
Alchemist	कीमियागर
Algebraical equation	बीजीय समीकरण
Alkaline elements	क्षारीय तत्त्व
Alpha particle	आल्फा-कणिका
Alpha ray	आल्फा किरण
Alternately	एकांतरत
Alternatively	विकल्पत
Alternating current	प्रत्यावर्ती धारा
Amplitude	आयाम
Analyser	विश्लेषक, ध्रुवण विश्लेषक
Analysis	विश्लेषण
Analytical	वश्लेषिक
Anisotropic	विषमदिक्
Annihilation	विनाश
Anomalous	असामान्य

Anomaly	विपमता
Antenna	एरियल
Anti-cathode	प्रति-कैथोड
Anti-electron	प्रति इलेक्ट्रॉन
Anti-symmetric	प्रति-ममित
Apparatus	उपकरण
Apparent	आभासी
Application	अनुप्रयोग उपयोग
Applied (Science)	अनुप्रयुक्त, उपयोगी
Appreciable	अनुभवगम्य, प्रेक्षणगम्य, बोध
Approximate	सन्निकट
Approximately	सन्निकटन
Approximation	सन्निकटन
Approximation, degree of—	सन्निकटन की कोटि
Arbitrary	स्वेच्छ, मनमाना
Assemblage	समाहरण
Associated wave	आनुपगिक तरंग
Asymptotic	अनन्तस्पर्शी
Astrophysics	तारा भौतिकी
Atomic	परमाण्विक
Atomic number	परमाणु क्रमांक
Atomic weight	परमाणु भार
Available energy	उपलब्ध ऊर्जा
Azimuth	दिग्ग
Azimuthal quantum-number	दिग्गतीय क्वांटम-संख्या
Ballistic	प्राक्षेपिक
Band spectrum	पट्टीदार स्पेक्ट्रम
Beam	किरणावली
Birefringence	द्वि-वर्तन
Blackbody	कृष्ण-वस्तु

Bond	बन्धन
Boundary condition	सामान्त प्रनियध
Calculation	परिगलन
Calculus differential	अवकलन
Calculus integral	अतुलन
Calculus of probabilities	प्रायनता-कलन
Canonical equations	धनानन समीकरण
Canonically conjugate	वैधानन मयमी
Cartesian	कार्तीय
Cathode ray	कथान त्ररण
Causal bond	काय-कारण सम्बध
Celestial Mechanics	सगान-यात्रवी
Central	षद्विक
Centrifugal force	अपकद्र बल
Characteristic	लागणिक
Charge	आवग काज
Circuit	परिपथ
Circuit closed	बद या नमीलित परिपथ
Circuit open	खुला या उमीलित परिपथ
Classical	चिरप्रतिष्ठित
Coherent	पूर्वापर विरोधहीन
Cohesion	समजन
Coincident	सपानी
Collective State	सामूहिक अवस्था
Collision	टक्कर सघट्ट
Combination (algebra)	सचय
Combination (chemistry)	सपाजन
Combination principle	सयोजन नियम
Combustion	दहन
Commutative	व्यत्ययशील

Complementarity
Complementary
Complex
Complex (maths)
Complex (particle)
Complex (Zeeman effect)
Component
Compound
Concept
Condensate
Condition
Conduction
Configuration
Configuration space
Conjugate
Conservation (of energy)
Conservative field
Constant (adj)
Constant (noun)
Constitution
Construction
Continuity
Continuous
Continuum
Contraction
Contradictory
Convection
Converse theorem
Coordinates
Coordinate axis of

परिपूरकता, सपूरकता
परिपूरक, सपूरक
जटिल
सम्मिश्र
यौगिक कणिका
असामाय जीमान प्रभाव
मघटक, घटक
यौगिक
धारणा, अवधारणा
सघनित
(१) अवस्था (२) प्रतिबन्ध
चालकता
विन्यास
विन्यासाकार
समुष्मी
अविनाशिता
स्थिरोज क्षेत्र
स्थिर, अचर
नियताव
संरचना
रचना
मातृ
मतत
मातृत्व
आवृत्ति
परस्पर विरोधी
गहन
विशेष प्रमेय
निष्कर्ष
निष्कर्ष

Coordinates System of	{ (१) निर्देशांक-पद्धति (२) निर्देशांक-तंत्र
Corpuscle	कणिका
Correspondence	आनुरूप्य
Correspondence principle	आनुरूप्य नियम
Corresponding	तत्समगत, अनुरूपी, आनुपगिक
Cosmic rays	अन्तरिक्ष किरणें
Co-variance	सहचरण सहचरत्व
Critical (Temp)	साप्रमणिक
Crystal	क्रिस्टल
Curl	कल
Current	धारा
Curve	वक्र
Curvilinear	वक्ररेखीय
Cybernetics	साइबर्नेटिक्स
Cycle	आवतन, चक्र
Cyclic	घट्रीय चात्रिक
Damped	अवमर्दित
Data	मास
Decomposition	विघटन
Deduction	निगमन
Deflection	विश्लेष
Deformation	विकृति
Degenerate	अपकृष्ट
Degree (Temp)	डिग्री
Degree (equation)	घात
Degree, of freedom	स्वतंत्रता की काटि, स्वातन्त्र्य-काटि
Dematerialisation	द्रव्यत्व विलापन
Denominator	हर
Density	घनत्व

Derivative	व्युत्पन्न, अवकलज
Derived	व्युत्पन्न
Determinate	निर्णीत
Determinism	नियतिवाद, प्राक् निर्णीतता
Development	विक्रम
Development (of mathematical expression)	प्रसार
Deviation	विचलन
Diagonal elements (of matrix)	विकर्णी अवयव
Diatomic	द्वि-परमाणुक
Dielectric constant	पारबैद्युतांक
Differential	अवकल
Differentiation	अवकलन
Diffraction	विवर्तन
Diffusion	विसरण
Dimensions (of body)	माप, विस्तार
Dimensions (of space)	विमिति
Dimensions (of units)	विमिति
Dimensional equation	विमितीय समीकरण
Discharge	विसर्ग
Discharge-tube	विसर्ग-नलिका
Discontinuous	असतत
Disintegration	विघटन
Disintegration constant	विघटनांक
Dispersion	वर्ण विक्षेपण
Displacement	विस्थापन
Displacement current	विस्थापन धारा
Dis-symmetry	विसमिति
Distribution	वितरण
Disturbance	विक्षोभ

Divergent	अपगारी
Divisibility	विभाज्यता
Dogma	आगम
Double refraction	द्वि-वतन
Double solution Theory	द्वि-माधन मिद्धान
Doublet	द्विव
Drag	महनपण
Dual	द्वघ
Dualistic	द्वतमय
Duality	द्वत
Dynamic	गत्यात्मर
Dynamical	गतिवीय
Dynamics	गतिवी, गतिविज्ञान
Elastic	प्रत्यास्थ
Elasticity	प्रत्यास्थता
Electric moment	वैद्युत घूण
Electric vector	वैद्युत दिष्ट
Electrification	आवपण, विद्युतन
Electro-dynamics	{ विद्युत-गतिविज्ञान { विद्युत-गतिवी
Electromagnetic	विद्युत चुम्बकीय
Electromagnetic system	विद्युत चुम्बकीय पद्धति
Electron	इलैक्ट्रान
Electro-optics	वैद्युत प्राकाशिकी
Electro static system	स्थिर-वैद्युत पद्धति
Element	तत्त्व
Elementary	मूल मौलिक
Elementary particles	मूल कणिकाएँ
Elimination	निरसन
Ellipse	दीघवत्त

Elliptical orbit
 Emission
 Empirical
 Enclosure
 Energetics
 Energy
 Energy kinetic
 Energy potential
 Entropy
 Equation
 Equation of state
 Equilibrium
 Equi-partition
 Error
 Evolution
 Exception
 Exchange energy
 Exclusion Principle
 Exo-thermic
 Expansion
 Experiment
 Experimental
 Explicit
 Exposure (to light)
 Expression
 Extinction
 Extrapolation
 Family (of Curves)
 Finite
 Fine-struction

दीधवृत्तीय कक्षा
 उत्सर्जन
 बानुभविक
 बाष्पक
 ऊर्जा विज्ञान
 ऊर्जा
 गतिज ऊर्जा
 स्थितिज ऊर्जा
 ऐट्रापी
 समीकरण
 अवस्था-समीकरण
 सतुलन
 सम विभाजन
 भूल
 विकास, प्रगति
 अपवाद
 विनिमय-ऊर्जा
 अपवजन नियम
 ऊष्मा निक्षेपक
 प्रसार
 प्रयोग
 प्रायोगिक, प्रयोगलब्ध
 स्पष्ट
 प्रदीपन
 व्यञ्जक, पद-सहति
 क्षय
 बहिर्वर्गन
 कुल
 परिमित
 सूक्ष्म रचना

Fission	विभजन
Fluctuation	धट-धट
Flux	प्रवाह
Force	बल
Forced Oscillation	प्रवाग्नि दान्न
Formalism	व्यानिव प्रश्रिया
Four-vector	चतुर्दिष्ट
Framework	टाचा मध्यान
Free binding	स्वनत्र बन्धन
Free electron	स्वनत्र इल्लान
Frequency	सावत्ति
Fringe	फ्रिज
Fringe (bright)	दीप्प फ्रिज
Fringe (dark)	अदीप्प फ्रिज
Function (maths)	फन्क्शन
Gama Rays	गामा किरणें
General	व्यापक
Generalisation	व्यापकीकरण
Generalised	व्यापकीकृत
Geodesic	अल्पान्तरी
Geometrical optics	ज्यामितीय प्रकाश विधान
Gradient	प्रवणता
Gram-atom	ग्राम-परमाणु
Gram-molecule	ग्राम-अणु
Grating	ग्रेटिंग
Gravity	गुरुत्वाकर्षण
Gravity centre of-	गुरुत्व-केन्द्र
Group	वर्ग, सघ
Group theory	सघ मिद्धान्त
Gyromagnetic anomaly	घूर्ण चुम्बकीय विपमता

Half integer	अध-भूणांक
Half-life	अर्धायु
Half-vector	अध दिष्ट
Harmonic	प्रसवादी
Harmonic oscillator	सरल दालक
Harmonic terms	सरल-आशत पद
Heat	ऊष्मा
Heat, atomic	पारमाणविक ऊष्मा
Heat, specific	विशिष्ट ऊष्मा
Hetero-polar	विपम ध्रुवी
Hole	गत
Homogeneous	समांगी
Homologous	समघर्मी, समानघर्मी
Homopolar	समध्रुवी
Hydraulics	द्रव यात्रिकी
Hypothesis	परिकल्पना
Idealisation	आदर्शिकरण
Idealism	प्रत्ययवाद
Identical	एक-सा एक समान एकात्मक, अभिन्न
Illumination	प्रदीपन
Image	प्रतिबिम्ब, प्रतिरूप
Imaginary	कल्पित काल्पनिक
Immediate	अव्यवहित, तात्कालिक
Incandescent	तापदीप्त
Incident	आपतित
Incompressibility	असपीड्यता
Incorporation	सन्निवेशण
Indeterminacy	अनिर्णयता
Indeterminate	अनिर्णय
Indeterminism	अनियतिवाद

Indeterministic	अनिश्चितवादी नियतिरजस
Index	(१) मन्वेनाव, (२) धानार
Index of refraction	यननार
Indistinguishable	अभिभद्य
Individual (adj)	(१) एवय (२) यन्निगत
Individuality	व्यक्तिव्य
Induction	प्रेरण
Induction method	उत्पगमन विधि
Inertia	अवस्थितिव
Infinite	अनन्त
Infinity	अनन्ती
Infra-red	अवरक्त
Insulator	विलासन (पथङ्गागी)
Instantaneous	तात्कालिक
Integer	पूर्णाव
Integral	(१) पूर्णाकी (२) अनुकल
Integrat line—	रमित अनुकल
Integration	अनुकलन
Intensity	तीव्रता
Interacting	अयाय प्रभावन
Interaction	पारस्परिक क्रिया
Interchangability	विनिमयता
Interdependence	अयायाश्रयत्व
Interference	व्यतिरक्षण
Interpretation	निवचन
Interval	अन्तराल
Interval (of space)	दिगन्तराल
Interval (of time)	कालांतराल
Intra-atomic	अन्त परमाणुव
Intra-nuclear	अन्त नाभिकीय, नाभिकाम्यन्तरिक

Introduce	निविष्ट करना
Introduction	निवृत्त
Invariant	निश्चर
Invention	आविष्कार
Inverse	प्रतिलोम
Inversion	प्रतिलोमीकरण, विपणन
Ion	आयन
Ionised	आयनित
Irreconcilable	असंघेय
Isolated	अन्य-संस्कृत
Isothermal	समतापीय
Isotope	समस्थानीय
Isotropic	समदिक
Isotropy	समदिगत्व
Juxta-position	सांनिध्य
Kinematics	गतिमिति
Kinetics	बल-गतिशी
Kinetic Theory	गत्यात्मक सिद्धान्त
Large Scale (phenomenon)	स्मूल-आपन्दीय (पटना)
Least action (principle)	यूनतम क्रिया नियम
Least Time (")	यूनतम काल नियम
Light-vector	प्रकाशिक दिष्ट
Limited	सीमित
Limiting case	परम दशा
Linear equation	रैखिक समीकरण, एक घात समीकरण
Linear Oscillator	रैखिक दात्र
Line-integral	रैखिक अनुकूल, रेखा-अन्त
Localisation	अवस्थान
Localism	स्थानिक
Luminiferous ether	प्रकाशिक ईश्वर

Macroscopic	स्थूल मापदंडीय, स्थूल-स्तरीय
Magneton	मैग्नेटॉन
Magneto-optics	चुम्बक प्राशिक्षिकी
Mass	द्रव्यमान
Material wave	द्रव्य-तरंग
Materialisation	द्रव्यत्व-संजन
Matrix	मैट्रिक्स
Matrix rows	मैट्रिक्स की पंक्तियाँ
Matrix columns	मैट्रिक्स के स्तम्भ
Mean	माध्य
Mechanical Equivalent	यांत्रिक तुल्यत्व
Mechanics	यानिकी
Medium	माध्यम
Mercury (planet)	बुध (ग्रह)
Meson	मेसान
Metric	मापतंत्र
Micro-physics	सूक्ष्म भौतिकी
Microscopic	सूक्ष्म मापदंडीय, सूक्ष्म-स्तरीय
Model	प्रतिरूप
Modulus	मापांक
Molecule	अणु
Moment	घूर्ण
Momentum	संवेग
Monochromatic	एक-वर्ण
Monotonic	एकमुखी, एक मानी
Motive power	संचालन शक्ति
Mountain of potential	विभव पर्वत
Multi-atomic	बहु-परमाणु
Multiple	अपवर्त्य
Multiple valency	बहु-संयोजकता

Multiple-valued	बहुमानी
Mutual energy	पारस्परिक ऊर्जा
Nature	(१) प्रकृति, जाति (२)
Neutron	यूट्रान
Nicol prism	निकोल प्रिज्म
Non-commutation rules	व्यत्ययहीनता के नियम
Non-corpuseular	अवर्णीय
Non-diagonal element (of Matrix)	अविवर्णी अवयव
Non-linear	अरतल
Normal	(१) सामान्य (२) अभिलम्ब
Normalisation	सामान्यीकरण
Normally	अभिलम्बत
Nuclear energy	नाभिकीय ऊर्जा
Nuclear Physics	नाभिकीय भौतिकी
Nucleon	यूक्लियान
Nucleus	नाभिक यूक्लियस
Numerator	अणु
Numerical value	संख्यात्मक मान
Observable	प्रेक्ष्य, प्रेक्षणगम्य
Observed	प्रेक्षित
Observer	प्रेक्षक
Obstacle	अवरोध
Occupy (space)	अधिष्ठित करना
Odd	विषम
Opalescence	भक्षिता उपलभासिता
Operator (Maths)	कारक
Operation	क्रिया, प्रक्रिया
Optics	प्रकाश विज्ञान प्राकाशिकी
Orbit	कक्षा

Orbital	वर्तीय
Order (of differentiation)	वण
Order (of magnitude)	काटि (पारिमाणिक)
Order (of arrangement)	क्रम अनुक्रम
Orientation	अनुस्थापन दिगानुस्थापन, अनुयास
Orthodox	शास्त्रसम्मत
Orthogonal	लम्बकोणिक
Ortho-helium	आर्यो-हीलियम
Overlapping	अति-याप्ति
Oxidation	आक्सीकरण
Paradoxical	विरुद्धाभासी, विराधाभासी
Parameter	प्राचल
Par-helium	पार-हीलियम
Partial	आंशिक
Particle	कण, कणिका
Particle accelerator	कणिका-त्वरित्र
Penetrating	वेधनशील
Perfect gas	आदर्श गैस
Perihelion	परिसौर बिन्दु
Period	आवत काल
Periodic motion	आवत गति
Periodicity	आवतत्व
Perpendicular	लम्ब, लम्ब रूप समकोणिक
Perturbation	संक्षोभण
Phase	कला
Phase, opposite	विपम कला, प्रतिकूल कला
Phase same	समकला, अनुकूल कला
Phase velocity	कला-वेग
Phase wave	कला-तरंग
Phenomenological	घटनामूलक

Photo-electric	प्रकाश-वैद्युत
Photo-electricity	प्रकाश विद्युत्
Photon	फोटोन
Physics	भौतिकी, भौतिक विज्ञान
Physical	भौतिक
Physical optics	भौतिक प्रकाश विज्ञान
Pilot wave	नाविक-तरंग
Planetary	ग्रहीय, ग्रहतुल्य
Point-like	बिन्दु-रूप
Point-mechanics	बिन्दु-यांत्रिकी
Polarisable	ध्रुवणीय
Polarisation	ध्रुवण
Polarisation, circular	वृत्त ध्रुवण
Polarisation elliptical	दीर्घवृत्तीय ध्रुवण
Polarisation plane	समतल ध्रुवण
Polarised	ध्रुवित
Polarity	ध्रुवीयता
Pooling	संकोपण
Positron	पोजीट्रॉन
Postulate	{ अधिमायता, अधिमाय नियम मूल कल्पना, सम्पना
Potential	विभव
Potential energy	स्थितिज ऊर्जा
Potentially	समाप्य रूप में, प्रच्छन्न रूप में
Power	शक्ति
Power (Maths)	घात
Practical	व्यावहारिक
Precaution	पूर्वाविधानता
Precise	परिच्छिन्न, परिगुद्ध
Predicted	प्रागुक्त

Prediction	प्रागुक्ति
Pressure	दबाव दाब
Primary	प्राथमिक
Principle	मिद्धान नियम
Prism	प्रिस्म
Probabilistic	प्राथिवता-सूत्र
Probability	प्राथिवता
Probable	प्राथिव
Probable, most	प्राथिवतम
Propagation	प्रचरण
Proper function	इष्ट फन्क्शन
Proper mass	नैज द्रव्यमान
Proper Time	नैज समय
Proper value	इष्ट मान
Property	गुण
Proportional	अनुपाती
Proton	प्राटोन
Provisional	अन्त वागीन
Qualitative	गुणात्मक
Quantity	(१) मात्रा, परिमाण (२) राशि
Quantitative	मात्रात्मक, पारिमाणिक
Quantum	क्वाटम
Quantum of action	क्रिया का क्वाटम
Quantum field theory	क्वाटम-क्षेत्र मिद्धान्त
Quantum number	क्वाटम-संख्या
Quantum number, azimuthal	दिगन्तीय क्वाटम-संख्या
Quantum number inner	आन्तरिक क्वाटम-संख्या
Quantum Physics	क्वाटम भौतिकी
Quantum potential	क्वाटम विभव
Quasi-periodic	आवृत्त-कल्प आवृत्ताभासी

Quotient	भागफल, लब्धि
Radiant energy	विकिरण ऊर्जा
Radiation	विकिरण
Radiation equilibrium	संतुलन विकिरण
Radio-active	स्वोत्सर्जी, रेडियमधर्मी
Radio-activity	स्वात्सर्जिता, रेडियमधर्मिता
Radius vector	सदिश त्रिज्या
Random	यदृच्छ, यादृच्छिक
Randomness	यदृच्छता यादृच्छिकता
Range	परिसर
Rank (of matrix)	पदवी, कोटि
Rare	विरल
Ratio	अनुपात
Rational Mechanics	शुद्ध यांत्रिकी
Ray	किरण
Reaction	प्रतिक्रिया
Real	वास्तविक
Realist	वास्तववादी
Reality	वास्तविकता
Reciprocal	(१) व्युत्क्रम (२) अयोयानुवर्ती
Reciprocity	अयोयानुवनन
Rectangular	समबाणिक
Red-shift	रक्तान्निमुखी विस्थापन, रक्तविस्थापन
Refracting	वतक
Refraction	वतन
Regular doublet	वैध द्विक
Relation	अनुग्रह
Relativistic	आपेक्षिकीय
Relativity theory	आपेक्षिकता का सिद्धान्त
Relativity, general	व्यापक आपेक्षिकता

Relativity special	विशिष्ट ज्ञापितत्वा
Represent	निष्पिा वग्ना
Representation	निष्पण
Representative point	निष्पर विटु
Research	गाध ज्ञानधान गणपणा
Resolve	विष्पण वग्ना
Resolution	विष्पण विभक्ता
Resolving power	विभक्ता पत्ति
Resonance	अनुनाद
Resonant	अनुनागे
Restoring force	प्रति विम्बापन बल
Restraining force	नियन्त्र बल
Rigid	रुड, परिण्ड
Rigorous (calculation)	बठार प्रवृष्ट
Ring	बलय
Rontgen rays	रतजन, राजन विरण, एक्स किरणें
Root (of equation)	हल
Rotation	घूणन
Saturated	गतप्त
Saturation	गतप्ति
Scalar	अदिष्ट
Scale	मापनड
Scattering	परिक्षेपण विक्षीणन
Schematic	योजनात्मक व्यवस्थात्मक
Secondary	द्वैतीयिक
Secular	दीर्घकालिक
Selection principle	वरण नियम
Sense (of direction)	अभिदिशा
Sequence	अनुक्रम
Series	श्रेणी

Sextuple	षडगुण
Shape	आकृति
Shell	सपुट, खोलक, परिच्छद
Significant	साथ, अथयूष
Simultaneous	योगपदिक, समक्षणिक
Simultaneous equations	योगपदिक समीकरण
Sine	ज्या
Singlet	एकक
Single-valued	एकमानीय
Singular (zone)	विचित्र प्रदेश
Singularity	विचित्रता
Size	आकार, नाप
Slope	प्रवणता
Slowing of clock	मन्दन
Solar system	सौर मण्डल
Solution (of equation)	हल
Space	आकाश
Spaced closely	स्वल्पांतरालित
Space-Time	दिक्-काल
Spatial	आकाशीय
Specific heat	विशिष्ट ऊष्मा
Spectral Term	स्पैक्ट्रमीय पद
Spectroscope	स्पैक्ट्रमदर्शी
Spectroscopist	स्पैक्ट्रम-वेत्तानि
Spectrum	स्पैक्ट्रम
Sphere	गोला
Spherical wave	गोलीय तरंग
Spin	नतन
Spinning	नतव
Spinor	नातनिक

Spinorial	गाननिरीय
Splitting	विभक्त
Squire	यग
Stable	स्थायी
Static	स्थित
Statics	स्थिति
Stationary action	स्थिर क्रिया
Stationary integral	स्थिर अनुसृत
Stationary State	स्थायर अवस्था
Stationary wave	अप्रगामी तरंग
Statistical mechanics	माध्यमीय यांत्रिकी
Statistics	माध्यमी
Stereo-chemistry	त्रिविमितीय रसायन
Structure	गठना
Subjectivism	व्यक्तिनिष्ठवाद
Substitution	प्रतिस्थापन
Successive	क्रमगत, उत्तरोत्तर
Super-conductivity	अतिचालकता
Super-imposition	अध्यारोपण
Supernumerary	अतिरिक्त अधिमध्य
Super-quantisation	अति-क्वांटमीकरण
Symbolic	माकेतिक
Symbolism	माकेतिकता, सकेत प्रणाली
Symmetrical	समित
Symmetry	समिति
Synchronisation	सकालन
Synchronism	सकालत्व
Synthetic	संश्लेषित
Synthesis	संश्लेषण
System (of Coordinates)	तन्

System (of bodies)	निकाय, सघ
System (of equations)	सहति, मघ
Table	सारणी
Table of numbers	अक-सारणी
Tangential	स्पर्श रेखीय
Technical	तकनीकी, प्राविधिक
Tele-communication	दूर-संचारण
Temperature	टेम्परेचर
Tension	तनाव
Tensor	टेन्सर
Term	पद
Term spectral	स्पेक्ट्रमीय पद
Theorem	प्रमथ
Theoretical	सद्धान्तिक
Theory	सिद्धान्त
Thermal agitation	तापीय सक्षोभ
Thermionic	तापायनिक
Thermo-dynamics	ऊष्मा-गतिकी
Threshold	देहली
Time-integral	कालानुकल
Trajectory	गमन-पथ, प्रक्षेप-पथ
Transcendental (maths)	बीजानीत
Transformation	रूपान्तरण
Transition	संक्रमण
Transmission	पारगमन, संचारण
Transmutable	तत्त्वान्तरणीय
Transmutation	तत्त्वान्तरण
Transport	परिवहन
Transposition	पन्थान्तरण
Trans-uranic	उत्तर-यूरेनियम

Transverse	अनुप्रस्थ
Triple	त्रिगुण
Tunnel effect	सुरंग प्रभाव
Ultra-violet	परा-वैगती
Uncertainty	अनिश्चितता
Uncertainty relations	अनिश्चितता के अनुबन्ध
Uncoordinated	अमध्यस्थ
Uniform	एक-समान समांगी
Uniform velocity	अचर वेग
Uniform field	समांगी क्षेत्र
Unique	अद्वितीय, अविकल्पी, अनन्य
Uniquely	अविवर्त्य, अनन्यत
Unit	मापक एकाक
Universal	सार्वत्रिक
Valency	संयोजकता
Valency directed	दिष्ट संयोजकता
Valency multiple	बहु-संयोजकता
Validity	वधता, मायता औचित्य
Valley of potential	विभव-उपत्यका
Variation	परिणमन, विचरण
Vary	विचरना, विचरित होना
Vector	दिष्ट, दिष्ट राशि, सदिश
Vectorial	दिष्टीय
Verification	सत्यापन
Verify	सत्यापित करना
Vibration	कम्पन
Vicious circle	दूषित चक्र (दुश्चक्र)
Viscosity	स्नानता
Vital	जव
Wave	तरंग

Wave, plane	समतल तरंग
Wave, spherical	गोलीय तरंग
Wave stationary	अप्रगामी तरंग
Wave-equation	तरंग-समीकरण
Wave front	तरंगाग्र
Wave group	तरंग-संघ
Wave guide	तरंग प्रणाल
Wave-Mechanics	तरंग-यांत्रिकी
Wave number	तरंगांक
Wave-packet	तरंग-मुच्छ
Wave surface	तरंग-पृष्ठ
Wave-train	तरंग माला
Weight	भार
Weighted mean	भारित माध्य
Whole multiple	पूर्ण अपवत्य
Whole number	पूर्णांक
Work	काय
World-force	विश्व-बल
World-line	विश्वरेखा
X-rays	एक्स किरण
Zeeman effect	ज़ीमान प्रभाव
Zeeman effect, anomalous	असामान्य ज़ीमान-प्रभाव
Zeeman effect complex	असामान्य ज़ीमान प्रभाव
Zeeman effect normal	सामान्य ज़ीमान प्रभाव

